



TESIS - TE142599

***SETTING DOCR ADAPTIF PADA SISTEM
DISTRIBUSI DENGAN PEMBANGKIT TERSEBAR
MENGUNAKAN ALGORITMA PSO - NEURAL
NETWORK***

DAENG RAHMATULLAH
2215201342

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo M.Eng.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



THESIS - TE142599

***ADAPTIVE DOCR SETTING ON DISTRIBUTION
SYSTEMS WITH DISTRIBUTED GENERATION
USING PSO-NEURAL NETWORK ALGORITHM***

DAENG RAHMATULLAH
2215201342

SUPERVISOR

Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo M.Eng.

MASTER PROGRAM
FIELD EXPERTISE POWER SYSTEM ENGINEERING
ELECTRICAL DEPARTMENT
ELECTRICAL TECHNOLOGY FACULTY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



TESIS - TE142599

***SETTING DOCR ADAPTIF PADA SISTEM
DISTRIBUSI DENGAN PEMBANGKIT TERSEBAR
MENGUNAKAN ALGORITMA PSO-NEURAL
NETWORK***

DAENG RAHMATULLAH
2215201342

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo M.Eng.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)

di

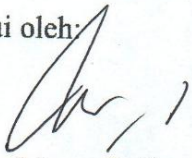
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Daeng Rahmatullah
NRP. 2215201342

Tanggal Ujian : 6 Juni 2017
Periode Wisuda : September 2017

Disetujui oleh:

- 
1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. (Pembimbing I)
NIP: 196603181990101001
 2. Prof. Dr.Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng (Pembimbing II)
NIP: 195809161986011001
 3. Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT. (Penguji)
NIP: 198109052005011002
 4. Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D. (Penguji)
NIP: 197311192000031001
 5. Heri Suryatmojo, ST., MT., Ph.D (Penguji)
NIP: 198006032006041003



Dekan Fakultas Teknologi Elektro

Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.
NIP. 197002121995121001

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul “***SETTING DOCR ADAPTIF PADA SISTEM DISTRIBUSI DENGAN PEMBANGKIT TERSEBAR MENGGUNAKAN ALGORITMA PSO-NEURAL NETWORK***” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 06 Juni 2017

Daeng Rahmatullah
NRP. 2215201342

Halaman ini sengaja dikosongkan

SETTING DOCR ADAPTIF PADA SISTEM DISTRIBUSI DENGAN PEMBANGKIT TERSEBAR MENGGUNAKAN ALGORITMA PSO-ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Nama mahasiswa : Daeng Rahmatullah
NRP : 2215201342
Pembimbing : 1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
2. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M. Eng

ABSTRAK

Untuk merancang koordinasi proteksi sistem distribusi pasif tidak begitu sulit, sedangkan pada sistem distribusi aktif atau jaringan yang terdiri dari pembangkit tersebar (DG) cukup menantang bagi teknisi proteksi. Selain itu, arus hubung singkat juga akan bervariasi jika ada DG pada sistem, sehingga perlu mengkoordinasikan kembali proteksi rele di sistem tersebut. Untuk mengatur ulang proteksi rele, para teknisi membutuhkan lebih banyak waktu. Namun untuk mengurangi waktu perhitungan pengaturan rele, koordinasi proteksi adaptif dan optimal diusulkan dalam penelitian ini dengan menggunakan *Particle Swam Optimization* dan *Artificial Neural Network* (PSO-ANN). Penelitian ini menggunakan kombinasi pembangkitan, Arus hubung singkat dan arus nominal yang mengalir sebagai data masukan dan *low setting directional overcurrent relay* (DOCR) hasil optimalisasi PSO sebagai data target. ANN yang digunakan adalah Backpropagation *conjugate gradient* (BCG). Penelitian ini diujicoba pada sistem loop IEEE 9 bus yang dimodifikasi dan dilengkapi dengan DG. Setelah mencapai konvergen proses pembelajaran BCG, akan didapatkan nilai bobot dan bias hasil pelatihan dan nantinya sebagai nilai acuan untuk mendapatkan nilai *setting low set* rele. proses tersebut akan menghasilkan *setting* rele secara otomatis berdasarkan hasil optimalisasi dan latihan PSO-ANN. Hasil penelitian ini telah dibuktikan dalam simulasi ETAP yang berhasil dan jelas bahwa algoritma PSO-ANN merupakan metode yang cocok untuk memodelkan sistem koordinasi relay adaptif dan optimal.

Kata kunci: Koordinasi proteksi adapif, Pembangkit Tersebar (DG), *Particle Swam Optimization* (PSO), *Artificial Neural Network* (ANN).

Halaman ini sengaja dikosongkan

ADAPTIVE DOCR SETTINGS ON DISTRIBUTION SYSTEMS WITH DISTRIBUTED GENERATION USING PSO- ARTIFICIAL NEURAL NETWORK ALGORITHM

By : Daeng Rahmatullah
Student Identity Number : 2215201342
Supervisor(s) : 1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
2. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery P, M.Eng

ABSTRACT

To design the coordination protection for passive distribution system is not the tough work, while active or mesh distribution system which consists many distributed generators is quite more challenge for protection engineers. Additionally, the short circuit current will also vary if any DG in the system is offline, which causes to re-coordinate the relay protection in the system. To reset the relay protection, the engineers need more time. However, in order to reduce the time of relay setting calculation, the adaptive and optimization protection coordination is proposed in this study by using Particle Swam Optimization and artificial neural network (PSO-ANN). The study bases on the combinations of DGs' state and the current levels as the input data and low setting of the directional overcurrent relays (DOCR) from output PSO as the target data training. ANN used is Backpropagation conjugate gradient (BCG). This research is conducted on modified IEEE 9-bus system equipped with distributed generators. After reaching convergence of BCG learning process, the results of weights and biases as reference to get value setting *low set* relay. It will generate the relay setting automatically base on the results of PSO-ANN. The results of this research has been testified in ETAP simulation successfully and it is obvious that PSO-ANN is a robust method to model adaptive relay coordination system with optimal relay operation time.

Keywords: Adaptive Coordination Protection, Distributed Generation (DG), Artificial Neural Network(ANN), Particle Swam Optimization (PSO).

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji serta syukur penulis ucapkan atas kehadiran ALLAH SWT yang telah banyak memberikan nikmat sehat dan nikmat ilmu sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian ini, yang berjudul : “***Setting DOCR Adaptif Pada Sistem Distribusi dengan Pembangkit Tersebar Menggunakan Algoritma PSO-Artificial Neural Network***”.

Semoga penelitian ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi pembaca. Terimakasih kepada pihak yang membantu menyelesaikan penelitian ini, yaitu:

1. Kedua Orang tua saya, yang telah banyak memberikan perhatian serta dukungan baik dalam doa, semangatnya, dan dana.
2. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT., dan Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo M. Eng selaku dosen pembimbing yang telah memberi banyak ilmu dan arahan, semoga bapak sehat selalu dan diberi keberkahan ilmu.
3. Bapak Anang Tjahjono yang telah banyak memberikaan wawasan, motivasi, ilmu, bimbingan, dan waktu yang telah banyak diluangkan kepada penulis untuk berdiskusi.
4. Saudara seperjuangan Destina, Labib, Belly, Restu, Rani, Samsudin, Eva, Samudra, Fajar, Evin, Hedi, Jauhari dan Thoeurn muy yang selalu memberi kemeriahan selama perkuliahan.
5. Adam yang selalu meluangkan waktu untuk berdiskusi tentang PSO.
6. Serial kartun “Naruto” sudah menemani sampai dititik ini.

Dalam menyusun penelitian ini, penulis berharap semoga penelitian ini bermanfaat, apabila ada kekurangan, saran serta kritik penulis harapkan. Terimakasih.

Surabaya, 06 Juni 2017

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Kontribusi	3
1.6 Metodologi Penelitian	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Proteksi Sistem Tenaga Listrik	5
2.2 Penyebab Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik	6
2.2.1 Gangguan Beban Lebih	6
2.2.2 Gangguan Beban Lebih	6
2.2.3 Gangguan Hubung singkat	7
2.2.4 Perhitungan Arus Hubung singkat	8
2.2.5 Hubung Singkat 3 Fasa	9
2.2.6 Hubung Singkat Antar Fasa	9
2.2.7 Hubung Singkat Satu Fasa Kertanah	10
2.3 Rele Pengaman	11
2.4 Rele Arus lebih	12
2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu <i>Instan</i>	12
2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu <i>Definite</i>	13
2.4.3 Rele Arus Lebih Waktu <i>Inverse</i>	14
2.5 <i>Setting</i> Rele	14

2.5.1	Setting Rele Arus Lebih Waktu <i>definite</i>	15
2.5.2	Setting Rele Arus Lebih Waktu <i>Inverse</i>	16
2.6	Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu	17
2.7	<i>Directional Over Current Relay</i> (DOCR)	17
2.8	Pembangkit Tersebar (DG)	17
2.9	Sistem Jaringan Distribusi Loop	18
2.10	<i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO)	19
2.10.1	Proses Inisiasi	20
2.10.2	Proses Iterasi dan Pembaharuan Parameter	20
2.11	<i>Artificial Neural Network</i> (ANN).....	22
2.11.1	<i>Backpropagation</i>	23
2.11.2	Membangun jaringan	24
2.11.3	Pelatihan Jaringan.....	25
2.11.4	Algoritma <i>Conjugate Gradient</i>	27
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		29
3.1	Proses Penelitian.....	29
3.2	Data <i>Single Line Diagram System Loop</i>	30
3.3	<i>Single Line Diagram</i>	32
3.4	Pengambilan data <i>I_{fla}</i> saluran	33
3.5	Perancangan Perubahan Topologi Jaringan	34
3.6	Optimisasi Koordinasi Proteksi Menggunakan PSO.....	34
3.7	Perancangan Koordinasi Proteksi Adaptif Menggunakan ANN <i>Backpropagation Conjugate Gradienti</i> (BCG)	37
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		43
4.1	Optimisasi Koordinasi Proteksi Pada sistem distribusi dengan DG menggunakan PSO	43
4.1.1	Kondisi <i>Generator</i> Utama, DG2, dan DG1 (Skema 1)	43
4.1.2	Kondisi <i>Generator</i> Utama dan DG2 (Skema 2)	48
4.1.3	Kondisi Terhubung <i>Generator</i> Utama dan DG1 (Skema 3)	52
4.1.4	Kondisi Hanya Terhubung <i>Generator</i> Utama(Skema 4).....	56
4.2	Pelatihan dan Pengujian <i>Artificial Neural Network</i> BCG	59
4.2.1	Kondisi Terhubung dengan <i>Generator</i> , DG1 dan DG2 (Skema1) ..	64
4.2.2	Kondisi Terhubung dengan <i>Generator</i> dan DG2 (Skema 2)	70

4.2.3	Kondisi Terhubung dengan Generator dan DG1(Skema 3).....	74
4.2.4	Kondisi Terhubung dengan <i>Generator</i> (Skema 4).....	80
BAB 5 PENUTUP		85
5.1	Kesimpulan	85
5.2	Saran	85
DAFTAR PUSTAKA		87
LAMPIRAN.....		89
DAFTAR INDEKS		105

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gelombang Arus Hubung Singkat [11].....	8
Gambar 2.2 Gangguan Shunt 3 Fasa.....	9
Gambar 2.3 Gangguna Shunt 2 Fasa.....	10
Gambar 2.4 Gangguan Shunt 1 Fasa.....	11
Gambar 2.5 Karakteristik Rele Arus Lebih Instant.....	13
Gambar 2.6 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu	13
Gambar 2.7 Kareakteristik Standard Inverse, Very Inverse, dan Etremely Inverse	14
Gambar 2.8 Rele Arus Lebih Pengaman Trafo.....	15
Gambar 2.9 Basic Directional Element Referse dan Forward	17
Gambar 2.10 Single Line Diagram IEEE 9 Bus	19
Gambar 2.11 Ilustrasi Perubahan Posisi Setiap Particle[15].....	22
Gambar 2.12 Bentuk Dasar Neuron[17]	23
Gambar 2.13 Arsitektur Neural Network[18]	25
Gambar 2.14 Supervised Learning.....	26
Gambar 3.1 Flow Chart Proses Penelitian	29
Gambar 3.2 Single line diagram IEEE 9 bus	32
Gambar 3.3 Flowchart Algoritma PSO.....	35
Gambar 3.4 Arsitektur ANN untuk Penelitian.....	40
Gambar 4.1 Sistem Saat Kondisi Pembangkitan Skema 1.....	44
Gambar 4.2 Kurva Konvergensi Skema 1.....	46
Gambar 4.3 Sistem Saat Kondisi Pembangkitan Skema 2.....	48
Gambar 4.4 Kurva Konvergensi Skema 2.....	50
Gambar 4.5 Sistem Saat Kondisi Pembangkitan Skema 3.....	52
Gambar 4.6 Kurva Konvergensi Skema 3.....	54
Gambar 4.7 Sistem Saat Kondisi Pembangkitan Skema 4.....	56
Gambar 4.8 Kurva Konvergensi Skema 4.....	58
Gambar 4.9 Kurva Best Performen Validasi.....	60
Gambar 4.10 Kurva Best Performance Pelatihan	61
Gambar 4.11 Kurva Kesesuaian dengan Target.....	62
Gambar 4.12 Kurva Pengujin Keseuainan antara Data Target dan Data Keluaran Pada kasus 4	64
Gambar 4.13 Simulasi Koordinasi Rele Skema 1	66
Gambar 4.14 Kurva Rele 4 dan Rele 3 Saat Hubung Singkat 3 fasa 0.5 cycle pada Bus 12	67
Gambar 4.15 Kurva Rele 9, 8, dan 15 Saat Hubung Singkat 3 fasa 0.5 cycle pada Bus 12	68
Gambar 4.16 Simulasi Koordinasi Rele Skema 2.....	71
Gambar 4.17 Kurva Rele 1, 6 dan 13 Saat Hubung Singkat 3 Fasa 0.5 cycle pada Bus 21	72

Gambar 4.18 Kurva Rele 12 dan 11 Saat Tejadi Hubung Singkat 3 Pasa 0.5 Cycle Pada Bus 21	73
Gambar 4.19 Simulasi Koordinasi Rele Skema 3	76
Gambar 4.20 Kurva Rele 6 dan 5 Saat Hubung Singkat 3 Fasa 0.5 cycle pada Bus 10	77
Gambar 4.21 Kurva Rele 7, 12 dan 13 Saat Tejadi Hubung Singkat 3 Fasa 0.5 Cycle pada Bus 10	78
Gambar 4.22 Simulasi Koordinasi Rele Skema 4	81
Gambar 4.23 Kurva Rele 2 dan 1 Saat Hubung Singkat 3 Fasa 0.5 Cycle Pada Bus 19	82
Gambar 4.24 Kurva Rele 11 dan 10 Saat Tejadi Hubung Singkat 3 Fasa 0.5 Cycle Pada Bus 19	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefisien Inverse Time Dial[14]	16
Tabel 3.1 Data Generator	30
Tabel 3.2 Data Pembangkit Tersebar	31
Tabel 3.3 Data Beban	31
Tabel 3.4 Data Saluran	31
Tabel 3.5 Pasangan Rele Utama dan Rele <i>Backup</i>	32
Tabel 3.6 Data Maksimum Arus Kabel XLPE 3 <i>core</i>	33
Tabel 3.7 Data <i>I_{fla}</i> saluran	33
Tabel 3.8 Kombinasi Pengambilan Data Pembelajaran ANN	34
Tabel 4.1 Data <i>I_{sc}</i> 3 fasa 0,5 <i>cycle</i> , <i>I_{FLA}</i> dan CT Pada Skema 1	44
Tabel 4.2 Data <i>I_{sc}</i> 3 fasa 0,5 <i>cycle</i> Rele Utama dan <i>Backup</i> Skema 1	45
Tabel 4.3 TDS dan <i>Ipickup</i> Kondisi Pembangkitan Skema 1	46
Tabel 4.4 Waktu Operasi Rele Utama dan Rele <i>Backup</i> Skema 1	47
Tabel 4.5 Data <i>I_{sc}</i> 3 fasa 0,5 <i>cycle</i> , <i>I_{FLA}</i> dan CT pada Skema 2	48
Tabel 4.6 Data <i>I_{sc}</i> 3 Fasa 0,5 <i>cycle</i> Rele Utama dan <i>Backup</i> Pada Skema 2	49
Tabel 4.7 TDS dan <i>Ipickup</i> Skema 2	50
Tabel 4.8 Waktu Operasi Rele Utama dan Rele <i>Backup</i> Skema 2	51
Tabel 4.9 Data <i>I_{sc}</i> 3 fasa 0,5 <i>cycle</i> , <i>I_{FLA}</i> dan CT pada Skema 3	52
Tabel 4.10 Data <i>I_{sc}</i> 3 Fasa 0,5 <i>cycle</i> Rele Utama dan Rele <i>Backup</i> Pada Skema 3	53
Tabel 4.11 TDS dan <i>Ipickup</i> Skema 3	54
Tabel 4.12 Waktu Operasi Rele Utama dan Rele <i>Backup</i> Skema 3	55
Tabel 4.13 Data <i>I_{sc}</i> 3 Fasa 0,5 <i>Cycle</i> , <i>I_{FLA}</i> dan CT Pada Skema 4	56
Tabel 4.14 Data <i>I_{sc}</i> 3 Fasa 0,5 <i>cycle</i> Rele Utama dan Rele <i>Backup</i> Pada Skema 4	57
Tabel 4.15 TDS dan <i>Ipickup</i> Kondisi Skema 4	58
Tabel 4.16 Waktu Operasi Rele Utama dan Rele <i>Backup</i> Skema 4	59
Tabel 4.17 Data Bobot dan Bias Hasil Pelatihan ANN	63
Tabel 4.18 Kondisi Pembangkitan Terhubung Generator, DG1, dan DG2	65
Tabel 4.19 Waktu Operasi Rele Utama dan Rele <i>Backup</i> Skema 1 Berdasarkan Simulasi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 <i>Cycle</i>	69
Tabel 4.20 Kondisi Pembangkitan Terhubung Generator dan DG2	70
Tabel 4.21 Waktu Operasi Rele Utama dan Rele <i>Backup</i> Skema 2 Berdasarkan Simulasi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 <i>Cycle</i>	74
Tabel 4.22 Kondisi Pembangkitan Terhubung Generator dan DG1	75
Tabel 4.23 Waktu Operasi Rele Utama dan Rele <i>Backup</i> Skema 3 Berdasarkan Simulasi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 <i>Cycle</i>	79
Tabel 4.24 Kondisi Pembangkitan Terhubung Generator	80
Tabel 4.25 Waktu Operasi Rele Utama dan Rele <i>Backup</i> Skema 4 Berdasarkan Simulasi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 <i>Cycle</i>	84

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proteksi sistem tenaga listrik dipasang disetiap susunan sistem tenaga listrik seperti pembangkit, transmisi, dan distribusi. Pada distribusi sistem proteksi pada dasarnya digunakan untuk mendeteksi arus gangguan hubung singkat dan beban lebih dari berbagai penyebab di lapangan salah satunya karena adanya pembangkit tersebar. Pada sebuah sistem radial proteksi rele bisa menggunakan kurva *inverse*, kurva *definite*, atau keduanya. Dibandingkan dengan sistem radial koordinasi proteksi pada sistem loop lebih kompleks. Karena arah arus yang mengalir dari berbagai arah sehingga diperlukan koordinasi proteksi *Directional Over Current Relay* (DOCR).

Pembangkit tersebar (DG) di zaman modern saat ini banyak mengakibatkan berbagai tingkat arus gangguan[1]. Hal ini membutuhkan skema perlindungan dengan estimasi sinyal kesalahan yang efisien dan cerdas pengambilan keputusan dalam kasus terjadinya gangguan tak terduga. Koordinasi proteksi rele untuk sistem yang terdapat DG menggunakan directional telah dibahas oleh beberapa makalah[2] dan [3]. Namun variasi kondisi DG setiap waktu berubah sehingga membuat perubahan arah dan nilai arus gangguan. Solusi untuk melindungi sistem disetiap perubahan kondisi DG dengan menggunakan koordinasi proteksi multi setting rele[4]. Koordinasi yang bagus adalah koordinasi yang memiliki waktu operasi rele yang secepat mungkin. Untuk mendapatkan koordinasi rele yang optimal telah diusulkan menggunakan algoritma optimisasi yang dibahas dalam karya ilmiah [5] dan [6]. Namun hal itu belum cukup, perubahan daya yang disuplai oleh DG juga akan merubah besar arus gangguan yang digunakan. Sehingga nilai setting relay juga akan berubah. Sedikit saja perubahan daya pada setiap pembangkitan maka semua dihitung ulang untuk mendapatkan koordinasi rele yang benar.

Semakin kompleks sistem distribusi tenaga listrik maka perhitungan ulang membutuhkan waktu semakin lama. Adaptif koordinasi rele menggunakan

Artifisial Intelegent (AI) diusulkan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Dengan menggunakan AI maka kita cukup dengan menghitung sekali setiap kombinasi pembangkitan dari DG. Algoritma AI sudah dapat memprediksi pengaturan rele yang tepat apabila ada perubahan kombinasi dan besar daya pembangkitan. Perlindungan cepat dan adaptif telah diusulkan seperti yang dibahas pada karya ilmiah[7]. Dari beberapa karya ilmiah ada yang membahas tentang OCR rele proteksi pada sistem loop pada dengan menggunakan algoritma *Multiple Sequence Alignment Algorithm* (MSA)[8], *Fuzzy*[9], *Neural network*[10]. Pengaturan koordinasi rele yang adaptif kurang sempurna apabila data pembelajaran AI yang digunakan belum optimal. Sehingga dibutuhkan koordinasi proteksi rele adaptif dan juga optimal.

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi dari permasalahan tersebut. Menggunakan algoritma PSO untuk mengoptimalkan waktu operasi rele dan menggunakan algoritma ANN *Backpropagation Conjugate Gradient* (BCG) untuk mendapatkan pengaturan yang adaptif. Sehingga memperoleh pengaturan yang tepat dan optimal untuk setiap perubahan kondisi pembangkitan.

Skema adaptif dan optimal yang diusulkan diuji pada sistem IEEE 9 bus yang di modif. Setelah itu di simulasikan dengan berbagai studi kasus. Hasil simulasi memverifikasi bahwa rele adaptif mampu mendeteksi gangguan dan perubahan kombinasi pembangkitan serta dapat memilih pengaturan perlindungan yang sesuai dan optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian diatas, maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana cara memperoleh pengaturan koordinasi proteksi pada sistem loop yang terhubung DG.
2. Bagaimana cara mengurangi kompleksitas perhitungan untuk koordinasi proteksi rele pada sistem loop.
3. Bagaimana cara memperoleh algoritma optimal dan adaptif menggunakan PSO-ANN untuk pengaturan rele proteksi pada sistem loop yang terhubung DG.

4. Apakah menggunakan metode ANN data yang dimasukkan untuk *master control* lebih kecil dibandingkan dengan metode *look up table*.
5. Bagaimana hasil simulasi dengan penerapan pengaturan rele proteksi menggunakan PSO-ANN pada IEEE 9 bus.

1.3 Tujuan

Dari rumusan masalah diatas maka didapat tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana cara memperoleh pengaturan koordinasi proteksi pada sistem loop yang terhubung DG.
2. Mengurangi kompleksitas perhitungan manual.
3. Memperoleh algoritma optimal dan adaptif menggunakan PSO-ANN untuk pengaturan rele proteksi pada sistem loop yang terhubung DG.
4. Membuktikan dengan menggunakan metode ANN data yang dimasukkan untuk *master control* lebih kecil dibandingkan dengan metode *look up table*.
5. Membuktikan algoritma PSO-ANN cocok untuk hasil simulasi dengan penerapan pengaturan rele proteksi menggunakan PSO-ANN pada IEEE 9 bus.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Pengujian gangguan hubung singkat hanya dilakukan pada bus dan kabel di dalam loop.
2. Hanya dilakukan untuk mencari pengaturan rele kurva inverse.
3. Pada kombinasi pembangkitan generator utama selalu mensuplai daya.
4. *Setting* rele di hanya digunakan untuk memperoteksi gangguan 0,5 *cycle*.

1.5 Kontribusi

Hasil penelitian ini diharapkan memiliki kontribusi sebagai berikut :

1. Menjadi literatur untuk bagi para peneliti yang lain.
2. Algoritma PSO-ANN dapat diterapkan untuk koordinasi rele yang adaptif dengan waktu opsai rele paling optimal di dunia industri.

1.6 Metodologi Penelitian

Dalam penulisan ini dibutuhkan suatu metodologi untuk mendapatkan hasil yang memuaskan. Rancang metodologi dalam mengerjakan proyek ini antara lain :

1. Studi Literatur dan pengumpulan data

Studi literatur mencakup studi untuk teori pengaman, studi komponen yang digunakan didalam single line diagram seperti *Directional Overcurrent Relay* (DOCR), *rating generator*, *transformer*, kabel. Selain itu juga dilakukan studi algoritma yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu PSO dan ANN.

2. Pemodelan Sistem

Dalam hal ini digunakan plan IEEE 9 bus dengan tambahan 2 DG. Sehingga didapatkan 4 kombinasi pembangkitan. Setelah itu dilakukan simulasi load flow untuk mendapatkan nilai arus full load (I_{FLA}) pada saluran dan hubung singkat untuk mendapatkan nilai arus hubung singkat.

3. Simulasi

Setelah data tersebut digunakan untuk proses optimalisasi menggunakan algoritma PSO mendapatkan *low set* rele. Secara acak 80 % dari data akan di latih menggunakan algoritma ANN sehingga didapatkan nilai bobot dan bias yang paling baik. Nilai bobot dan bias hasil pelatihan diuji dengan menggunakan 20% data yang bukan termasuk data pelatihan. Sehingga didapat nilai *setting low set* untuk rele.

4. Analisa

Hasil simulasi yang berupa *setting low set* rele dimasukkan pada *single line diagram* didalam aplikasi ETAP. Setelah itu pengujian koordinasi rele disetiap kombinasi pembangkitan. Dari hasil pengujian tersebut dianalisa meliputi pengaruh DG pada sistem loop, arah arus yang mengalir, waktu operasi rele, dan efektifitas algoritma PSO-ANN untuk mendapatkan pengaturan rele yang adaptif dan optimal.

5. Kesimpulan

Langkah akhir dari penelitian ini adalah menarik kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Serta mencatat semua hasil penelitian sesuai standart yang telah ditentukan.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

Sistem proteksi pada sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari peralatan-peralatan yang berfungsi meminimalkan gangguan dengan cara mengisolasi ataupun memutus bagian yang terkena gangguan sehingga bagian sistem yang lain terbebas dari gangguan, kontinuitas penyaluran tenaga listrik tidak terganggu, dan sistem dapat bekerja secara normal. Arus gangguan yang mengalir pada sistem tenaga listrik akan menyebabkan beroperasinya rele proteksi dan menggerakkan pemutus tenaga listrik sehingga terputus aliran daya yang mengalir pada saluran tersebut. Masing-masing rele pada sistem tenaga listrik perlu dikoordinasikan dengan rele-rele proteksi lainnya untuk melindungi peralatan yang berdekatan. Koordinasi rele proteksi merupakan pengaturan nilai arus dan waktu dari beberapa rele pengaman agar diperoleh selektivitas yang tepat dalam melokalisasi gangguan yang terjadi agar tidak terjadi trip disisi hulu dan hilir pada saat yang bersamaan. Kecepatan waktu trip yang tepat dapat memberikan perlindungan yang baik pada sistem dan peralatan yang ada agar tidak terjadi kerusakan.

2.1 Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Kehandalan suatu sistem tenaga listrik antara lain ditentukan oleh frekuensi pemadaman yang terjadi pada sistem tersebut. Semakin sering frekuensi pemadaman dan semakin lama waktu pemadaman atau pengamanan, semakin rendah tingkat kehandalan sistem tersebut. Pengaman yang terjadi pada sistem tenaga listrik biasanya disebabkan oleh gangguan sehingga untuk mengatasi gangguan dan meningkatkan kehandalan sistem diperlukan sistem mekanisme yang dapat menghindari frekuensi pengamanan yang terlalu sering dalam waktu yang lama. Mekanisme ini dalam sistem kelistrikan dikenal dengan istilah sistem proteksi.

Fungsi proteksi adalah untuk mengurangi resiko yang ditimbulkan ke tingkat aman dengan menghilangkan gangguan sistem sesegera mungkin dan meminimalkan pemutusan operasi pada sistem tenaga[12].

Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik biasanya merupakan gangguan yang terkait dengan saluran penghantar dan peralatan- peralatan tenaga listrik seperti trafo, generator, dan dan berbagai peralatan distribusi lainnya. Gangguan sistem tenaga listrik dikatagorikan sebagai berikut :

- a. Gangguan hubung singkat
- b. Gangguan beban lebih
- c. Gangguan tegangan lebih

Konsentrasi gangguan pada tesis ini terhadap hubung singkat dan beban lebih pada sistem distribusi yang terdapat pembangkit tersebar didalam distribusi. Untuk mengamankan sistem kelistrikan dibutuhkan peralatan listrik yang disebut rele proteksi, *circuit breaker*(CB) atau pemutus daya (PMT) yang berfungsi untuk memutuskan hubungan antara sumber tenaga listrik dan beban yang dapat bekerja secara otomatis ketika terjadi gangguan.

2.2 Peyebab Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Pada sistem tenaga listrik tiga fasa, gangguan-gangguan yang dapat menyebabkan adanya arus lebih diantaranya adalah gangguan beban lebih, gangguan tegangan lebih, dan gangguan arus hubung singkat.

2.2.1 Gangguan Beban Lebih

Merupakan gangguan yang disebabkan oleh arus yang mengalir melebihi kapasitas suatu peralatan listrik atau perlalatan pengaman. Arus yang mengalir melebihi arus nominal yang diizinkan ($I > I_n$). Bila gangguan ini dibiarkan terus menerus maka dapat merusak peralatan sistem tenaga listrik yang dialiri arus tersebut. Pencegahan gangguan semacam ini dapat dilakukan dengan cara mengatur pembangkitan agar tidak ada bagian tertentu dalam sistem yang mengalami beban lebih.

2.2.2 Gangguan Beban Lebih

Gangguan tegangan lebih merupakan gangguan yang terjadi akibat gangguan dari luar yang memberikan tegangan seketika sehingga sistem kelistrikan mengalami kelainan. Gangguan tegangan lebih dapat terjadi karena :

1. Gangguan petir
2. Gangguan surja hubung, diantaranya adalah penutupan saluran tak serempak pada pemutusan tiga fasa, penutupan kembali saluran dengan cepat, pelepasan beban akibat gangguan, penutupan saluran yang semula tidak masuk sistem menjadi masuk sistem.

2.2.3 Gangguan Hubung singkat

Gangguan hubung singkat dapat terjadi satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah dan tiga fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat dapat dibagi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetris dan gangguan hubung singkat asimetris. Gangguan hubung singkat tiga fasa merupakan gangguan hubung singkat simetris, gangguan ini dapat digunakan untuk menghitung ketahanan pada peralatan. Sedangkan gangguan yang lain merupakan gangguan hubung singkat asimetris.

Gangguan asimetris dapat menyebabkan arus tidak seimbang mengalir dalam sistem sehingga untuk menganalisis gangguan yang terjadi digunakan metode komponen simetri untuk menentukan arus maupun tegangan disemua bagian sistem setelah terjadi gangguan. Gangguan asimetri akan menyebabkan gangguan arus lebih pada fasa yang terganggu dan juga dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu. Gangguan asimetri dapat digunakan untuk menghitung arus *pick-up* pada rele, dan pada umumnya sebagian besar gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan asimetris

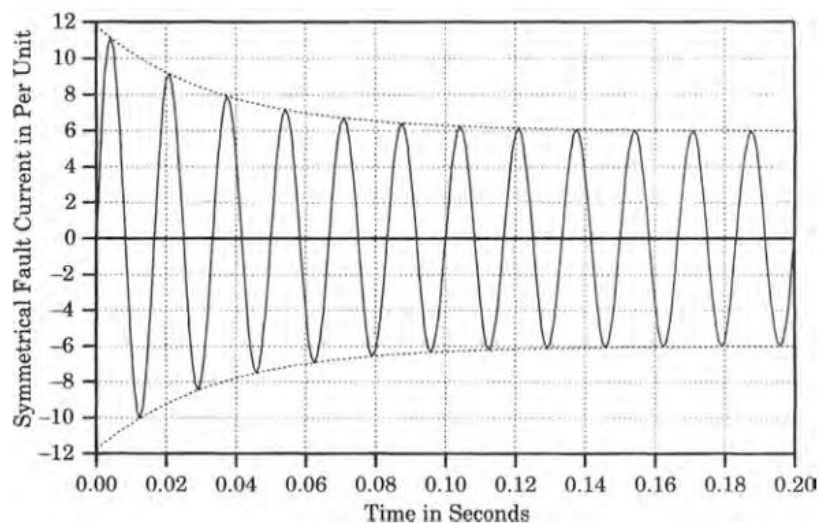
Apabila gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung pada suatu sistem tenaga listrik maka timbul pengaruh yang tidak diinginkan yang mungkin terjadi pada sistem, antara lain :

1. Kerusakan pada peralatan yang berada dekat dengan gangguan oleh arus-arus yang besar, arus tidak seimbang maupun tegangan-tegangan redah.
2. Stabilitas daya pada sistem menurun.

Kontinuitas pelayanan listrik ke beban dapat berhenti apabila gangguan hubung singkat tersebut dapat mengakibatkan *circuit breaker* bekerja sehingga terjadi pengaman.

2.2.4 Perhitungan Arus Hubung singkat

Arus yang cukup tinggi akan mengalir dari sumber ketitik gangguan pada saat terjadi hubung singkat. Besarnya arus yang mengalir ini dipengaruhi oleh nilai reaktansi dari sumber dan reaktansi pada rangkaian yang dilalui arus hubung singkat. Reaktansi pada beberapa *cycle* pertama sangat kecil dan arus hubung singkatnya tinggi. Reaktansi pada saat ini disebut dengan reaktansi subtransient atau subtransient reactance (X''_d). Beberapa *cycle* kemudian arus huung singkat cenderung menurun dan reaktansi pada saat ini disebut dengan reaktansi transien (X'_d) dan akhirnya kondisinya mencapai *steady state* dan pada saat ini kreaktansinya disebut dengan reaktansi sinkron (X_d) . Reaktansi pada rangkaian yang dialiri arus hubung singkat dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Gelombang Arus Hubung Singkat [11]

Suatu sistem tenaga listrik apabila terjadi gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung maka akan timbul pengaruh yang tidak diinginkan pada sistem, antara lain :

1. Rusaknya peralatan sistem tenaga listrik yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus-arus yang besar, arus-arus tak seimbang atau tegangan - tegangan rendah yang terhubung dengan arus hubung singkat.
2. Kemungkinan terjadinya ledakan pada peralatan-peralatan yang mengandung minyak isolasi saat terjadi gangguan hubung singkat dan mungkin

menimbulkan kebakaran sehingga dapat membahayakan operator atau manusia dan peralatan yang lainnya.

3. Suatu sistem yang terkena gangguan dapat terpisah dari sistem interkoneksi.

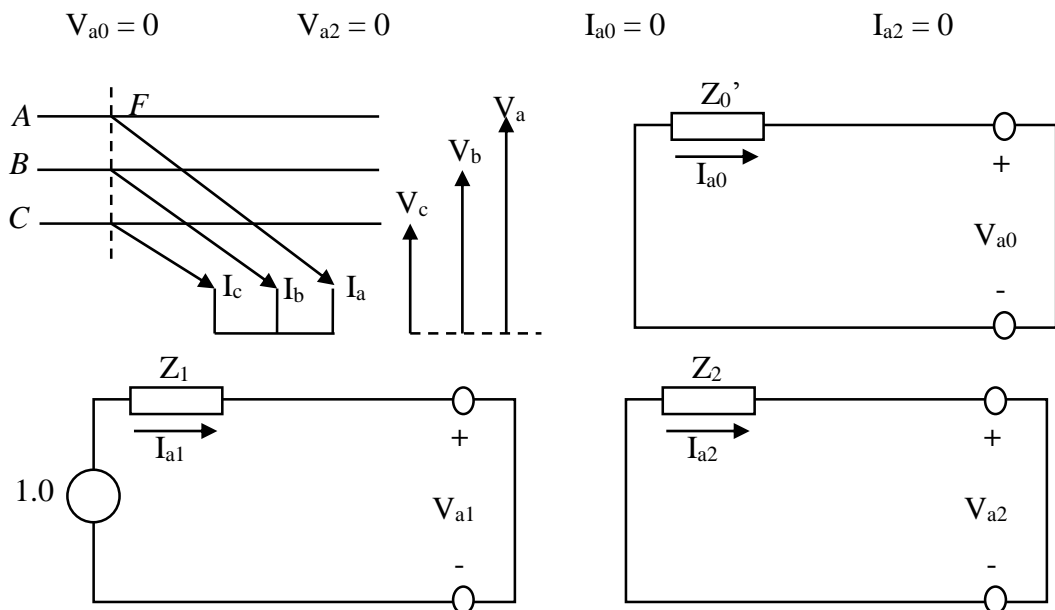
2.2.5 Hubung Singkat 3 Fasa

Hubung singkat ini melibatkan ketiga fasa. Arus hubung singkat tiga fasa diberikan oleh persamaan berikut. [11]

$$I_{SC} = \frac{V_{LN}}{x_1} \quad (2.1)$$

Di mana V_{LN} adalah tegangan nominal *line to netral*, dan x_1 adalah reaktansi urutan positif.

urutan positif.



Gambar 2.2 Gangguan Shunt 3 Fasa

2.2.6 Hubung Singkat Antar Fasa

Hubung singkat ini terjadi antar 2 fasa tanpa terhubung ketanah. Arus hubung singkat antar fasa (I_{sc}) diberikan oleh persamaan berikut[11] :

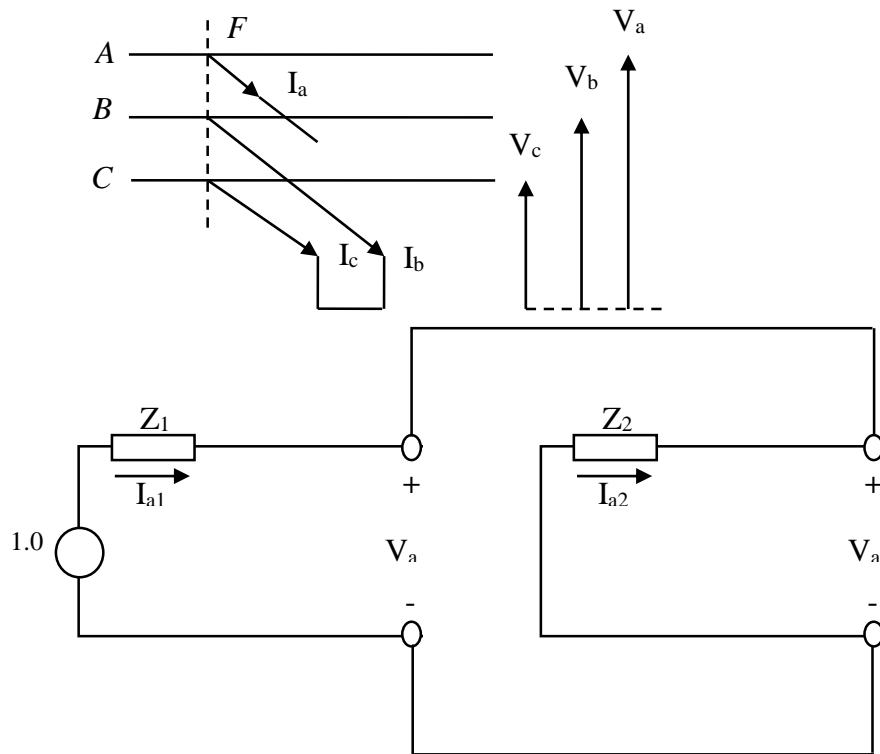
$$I_{SC} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} \quad (2.2)$$

Dengan V_{LL} tegangan nominal *line to line*, dan x_2 adalah reaktansi urutan negatif

$$I_a = 0$$

$$I_b = -I_c$$

$$V_b = V_c$$



Gambar 2.3 Ganggana Shunt 2 Fasa

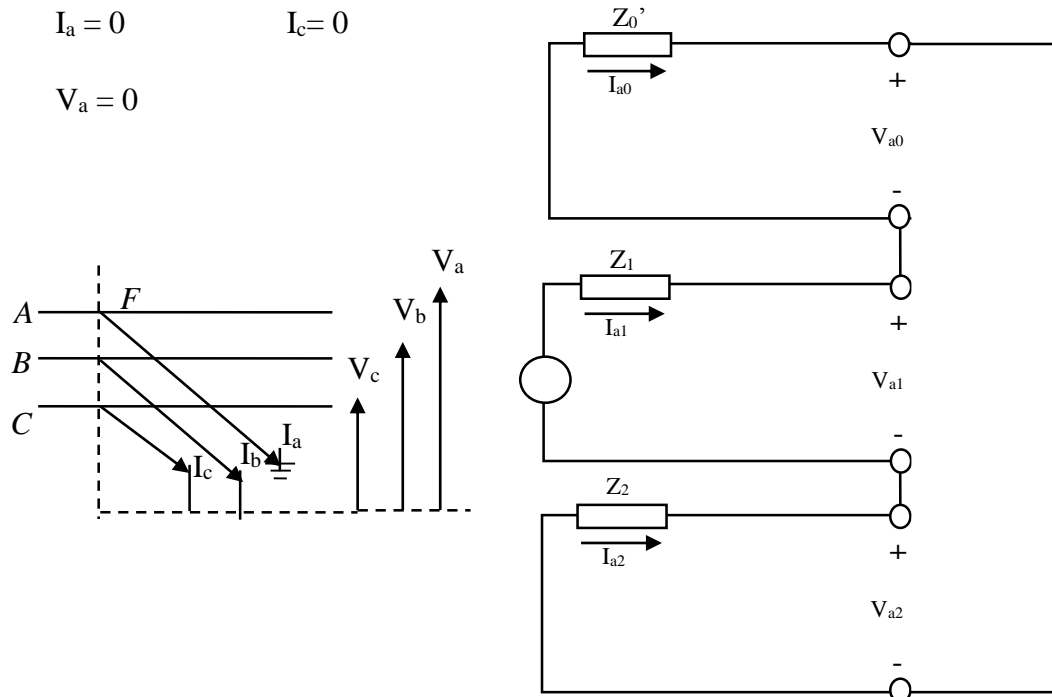
2.2.7 Hubung Singkat Satu Fasa K tanah

Hubung singkat ini melibatkan impedansi urutan nol (Z_0), dan besarnya arus hubung singkat ini tergantung sistem pentanahan yang digunakan, arus hubung singkat antar fasa (I_{SC}) diberikan oleh persamaan berikut [11]:

$$I_{SC} = \frac{3V_{LN}}{x_1 + x_2 + x_0} \quad (2.3)$$

Apabila sistem menggunakan pentanahan solid maka $Z_g = 0$ dan $x_1 = x_2 = x_0$ sehingga persamaannya menjadi [11]:

$$I_{SC} = \frac{3V_{LN}}{3x_1} \quad (2.4)$$



Gambar 2.4 Gangguan Shunt 1 Fasa

2.3 Rele Pengaman

Dalam mengatasi bahaya dari berbagai macam gangguan-gangguan pada sistem tenaga listrik, maka diperlukan rele pengaman. Sistem tenaga listrik dibutuhkan untuk menghasilkan dan mengalirkan energi listrik kekonsumen oleh karena itu sistem tersebut harus dirancang dengan baik agar kontinuitas terjaga, handal dan ekonomis. Dalam membangun sistem tenaga listrik diperlukan biaya yang banyak karena peralatan yang berbagai macam dan sistem yang rumit. Biaya tersebut diharapkan memiliki sistem pengaman yang baik dan tepat.

Oleh karena itu dalam pengoperasiannya peralatan rele pengaman sistem tenaga listrik harus memenuhi syarat-syarat berikut[12]:

1. Selektifitas, yaitu kemampuan rele pengaman mendeteksi dan memerintah *circuit breaker* untuk trip dan mengisolasi bagian yang terganggu saja untuk mengkoordinasikan rele agar menjadi selektif dalam melakukan perhitungan hubungsingkat dengan cermat dan memperhatikan karakteristik dari rele tersebut.

2. Stabilitas, yaitu kemampuan rele pengaman untuk menjaga suplai pada bagian yang tidak mengalami gangguan.
3. Sensitifitas, yaitu kecepatan bereaksi rele pengaman memberi sinyal kepada pemutus tenaga (PMT) agar dapat beroperasi secepat mungkin saat terjadi gangguan sehingga keamanan sistem terjaga. Waktu bereaksi diusahakan sesingkat mungkin sehingga kerusakan yang terjadi semakin kecil, sehingga dapat mengurangi meluasnya akibat dari adanya gangguan itu sendiri sehingga kestabilan sistem menjadi lebih baik.
4. Keandalan, dapat dihitung dari jumlah rele yang bekerja untuk mengamankan gangguan berbanding jumlah gangguan yang terjadi. Semakin tinggi keandalan maka sistem tersebut semakin baik dan dapat meminimalkan terjadinya kerusakan akibat gangguan. Untuk mencapai keandalan yang tinggi tidak lepas dari kualitas peralatan dan cara pemasangannya. Keandalan harus memenuhi beberapa faktor yaitu : dependability : peralatan harus trip ketika dibutuhkan dan availability: perbandingan antara waktu dimana rele pengaman dalam keadaan siap bekerja dalam waktu total operasinya.

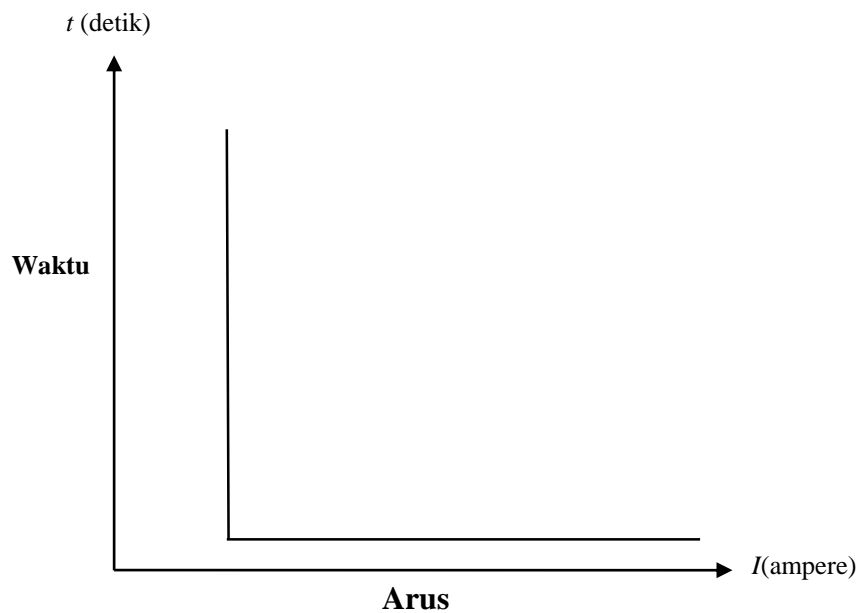
2.4 Rele Arus lebih

Rele arus lebih adalah rele pengaman apabila ada arus yang dideteksi melebihi setpoint yang telah ditentukan dibagi menjadi 3 menurut jenis kurvenya yaitu [12]:

1. Rele Arus lebih Waktu *Instant*
2. Rele Arus Lebih Waktu *Definite*
3. Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu *Instant*

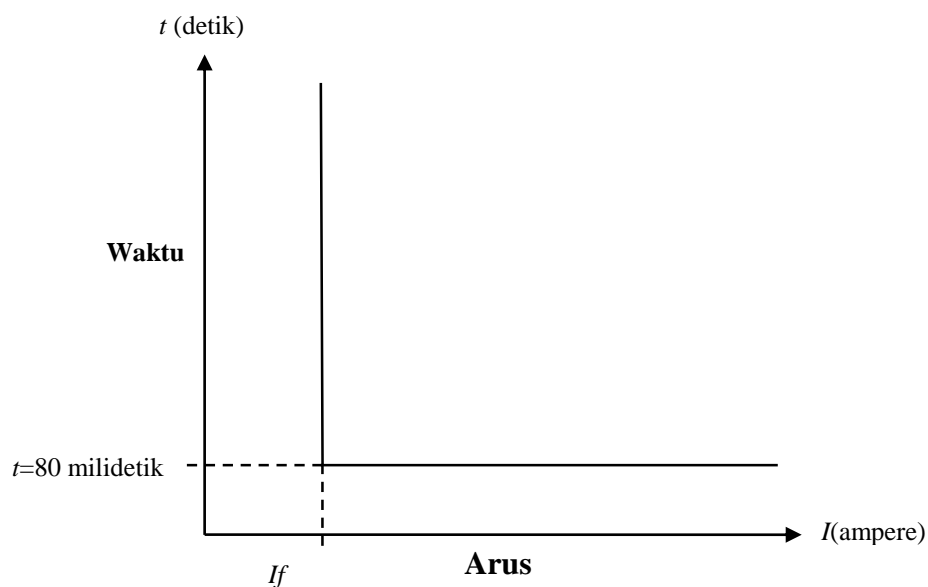
Relay yang bekerja seketika (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai *setting*-nya, relay akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10 – 20 ms). Dapat kita lihat pada gambar dibawah ini.. Semua *level* arus yang melebihi *pickup setpoint*-nya akan diputuskan dalam waktu yang sama Gambar 2.5 menunjukkan karakteristik dari rele arus lebih *instant*.



Gambar 2.5 Karakteristik Rele Arus Lebih *Instant*

2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu *Definite*

Setting rele pengaman dengan menggunakan karakteristik waktu tertentu yang disetel pada rele hanya berdasarkan pada waktu kerjanya rele pengaman dengan tidak melihat besarnya arus gangguan. Dengan kata lain semua *level* arus yang melebihi *pickup set point*-nya akan diputuskan dalam waktu yang sama (*definite*).

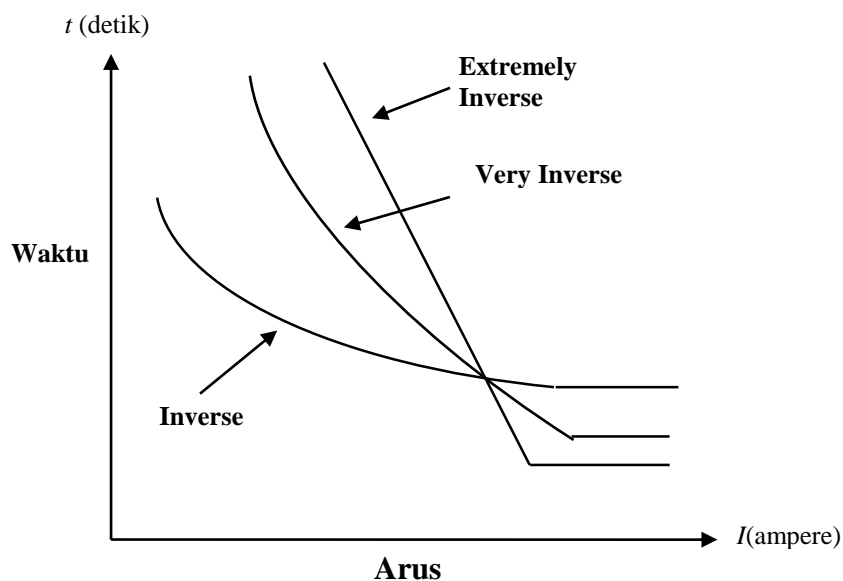


Gambar 2.6 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

2.4.3 Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

Rele arus lebih waktu *invers* memiliki karakteristik dimana semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat. Sebaliknya, jika arus gangguan kecil maka waktu tunda operasi rele akan lebih lama. Karakteristik kerja rele arus lebih waktu *invers* digambarkan dalam kurva arus-waktu atau yang biasa disebut *time-current characteristic* (TCC). Dalam standart. TCC adalah kurva dengan skala dalam *time dial*. Semakin besar *time dial*, maka semakin lama waktu operasi dari rele tersebut.

Karakteristik invers dalam standart IEC 60255-3 dan BS 142. Standar ini mendefinisikan beberapa jenis perlindungan waktu invers yang dibedakan gradien kurvanya, yaitu standart invers, veri invers, dan extrimely invers. Standar lain misalnya *IEEE std 242-2001* yaitu *long time invers*, *very invers*, *short time invers*, dan *extreme invers*[13]. Penggunaanya juga bisa di kombinasikan dengan rele arus lebih waktu instan yang nanti akan dijelaskan lebih lanjut



Gambar 2.7 Karakteristik *Standard Inverse*, *Very Inverse*, dan *Extremely Inverse*

2.5 Setting Rele

Untuk melakukan *setting* pada rele arus lebih maka perlu dilakukan studi aliran daya dan studi hubung singkat agar didapat nilai arus hubung singkat sebagai salah satu nilai parameter dari rele. Studi hubung singkat bertujuan untuk

menentukan arus dan tegangan maksimum dan minimum pada bagian-bagian dari suatu sistem tenaga listrik untuk jenis gangguan yang mungkin terjadi.

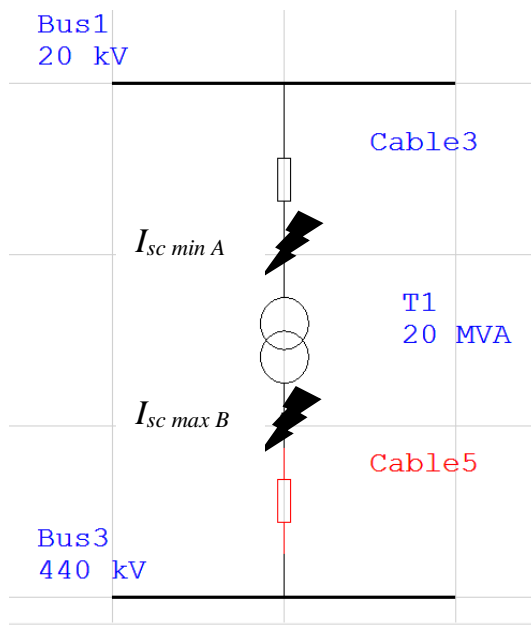
2.5.1 Setting Rele Arus Lebih Waktu *definite*

Rele arus lebih instan, seperti yang sudah dijelaskan akan bekerja seketika apabila ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang diijinkan. Dalam menentukan setelan *pickup* instan ini digunakan $I_{sc\min}$ yaitu arus hubun singkat 2 fasa pada pembangkitan minimum. Sehingga *setting* ditetapkan [12]:

$$I_{set} \leq 0,8 I_{sc\min} \quad (2.5)$$

Selain itu ada juga kondisi khusus yang perlu kita perhatikan dalam mensetting rele arus lebih waktu instan ini. Salah satunya adalah kondisi khusus untuk pengaman *feeder* yang dipisahkan oleh trafo, koordinasi pengaman dibedakan menjadi dua daerah, yakni daerah Tegangan rendah dan daerah tegangan tinggi seperti pada Gambar 2.8. untuk menentukan *setting pickup* dengan syarat sebagai berikut :

$$I_{sc\max\text{ bus B}} \leq I_{set} \leq 0,8 I_{sc\min\text{ A}} \quad (2.6)$$



Gambar 2.8 Rele Arus Lebih Pengaman Trafo

Dimana $I_{sc\max\text{ bus B}}$ merupakan arus hubung singkat tiga fasa maksimum pada titik, sedangkan $I_{sc\min\text{ bus A}}$ adalah arus hubung singkat minimum pada titik A.

2.5.2 Setting Rele Arus Lebih Waktu Inverse

Untuk *setting* rele arus lebih waktu *inverse* dapat *mensetting* dua bagian yaitu setelan *pickup* dan setelan *time dial*. Untuk setelan *pickup*, batas penyetelan rele arus lebih adalah rele tidak bekerja pada saat beban maksimum. Oleh karena itu *setting* arusnya harus lebih besar dari arus beban maksimum. Pada rele arus lebih, besarnya arus *pickup* ini ditentukan dengan memilih *tap*. Adapun untuk menentukan besarnya *tap* yang digunakan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} \quad (2.7)$$

I_{set} adalah arus *pickup* dalam *Ampere*. Menurut *standard british BS 142* batas penyetelan adalah $1,05 I_{fla} < I_{set} < 1,4 I_{fla}$ diman I_{fla} adalah arus saat beban maksimum peralatan.

Setelan *time dial* menentukan waktu operasi rele. Untuk menentukan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik *inverse* rele arus lebih dapat digunakan persamaan sebagai berikut[14]:

$$td = \frac{k \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{scmax}}{I_{set}}\right)^{\alpha} - 1\right]} \quad (2.8)$$

Keterangan :

td = waktu operasi (detik)

T = *time dial*

I_{scmax} = nilai arus hubung singkat maksimum (*Ampere*)

I_{set} = arus *pickup* (*Ampere*)

α = koefisien *invers* 1 (lihat tabel 2.1)

k = koefisien *invers* 2 (lihat tabel 2.1)

Tabel 2.1 Koefisien Inverse Time Dial[14]

Tipe Kurva	Koefisien	
	α	k
<i>Standard inverse</i>	0,02	0,14
<i>Very inverse</i>	1,00	13,50
<i>Extremely inverse</i>	2,00	80

2.6 Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu

Koordinasi ini adalah untuk menentukan waktu tunda pada rele pengamanan. Antara rele pengamanan utama dan rele pengamanan *backup* tidak boleh bekerja secara bersamaan. Untuk itu diperlukan adanya waktu tunda antara rele utama dan rele *backup*. Dengan spesifikasi sebagai berikut menurut standart *IEEE 242*:

Waktu buka CB : 0,04 – 0,1s (2-5 cycle)

Overtravel dari rele : 0,1s

Faktor keamanan : 0,12-0,22

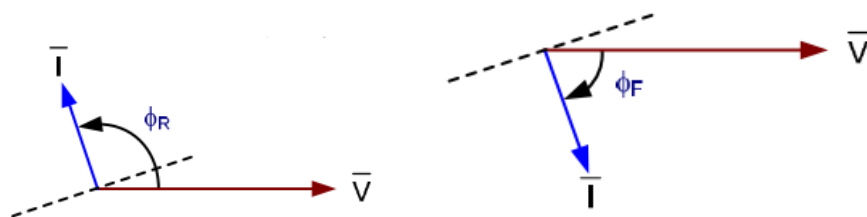
Untuk rele berbasis *microprocessor overtravel time* dari rele diabaikan. Sehingga total waktu yang diperlukan adalah 0,2-0,3s.

2.7 Directional Over Current Relay (DOCR)

Rele *directional* adalah rele yang digunakan untuk memproteksi jaringan cincin atau jaringan yang terhubung dengan beberapa sumber pembangkit. Rele direksional diperlukan sebab pada jaringan demikian rele arus lebih biasanya tidak bekerja secara selektif.

Rele direksional dibuat seperti rele arus lebih biasa ditambah dengan elemen arah yang dapat menentukan arah gangguan yang dapat digunakan untuk memutuskan apakah gangguan perlu diputus atau tidak.

Elemen *directional* bekerja berdasarkan pergeseran fasa antara besar polarisasi dan besar operasinya. Untuk kondisi *forward*, I lag terhadap V dan untuk kondisi *reverse* I lead terhadap V .



Gambar 2.9 Basic Directional Element Reverse dan Forward

2.8 Pembangkit Tersebar (DG)

Pembangkit tersebar atau dalam bahasa Inggris *Distributed Generation* (DG) merupakan pembangkit berskala kecil yang tersebar disisi beban atau pelanggan. *International Council on Large Electricity System* (CIGRE)

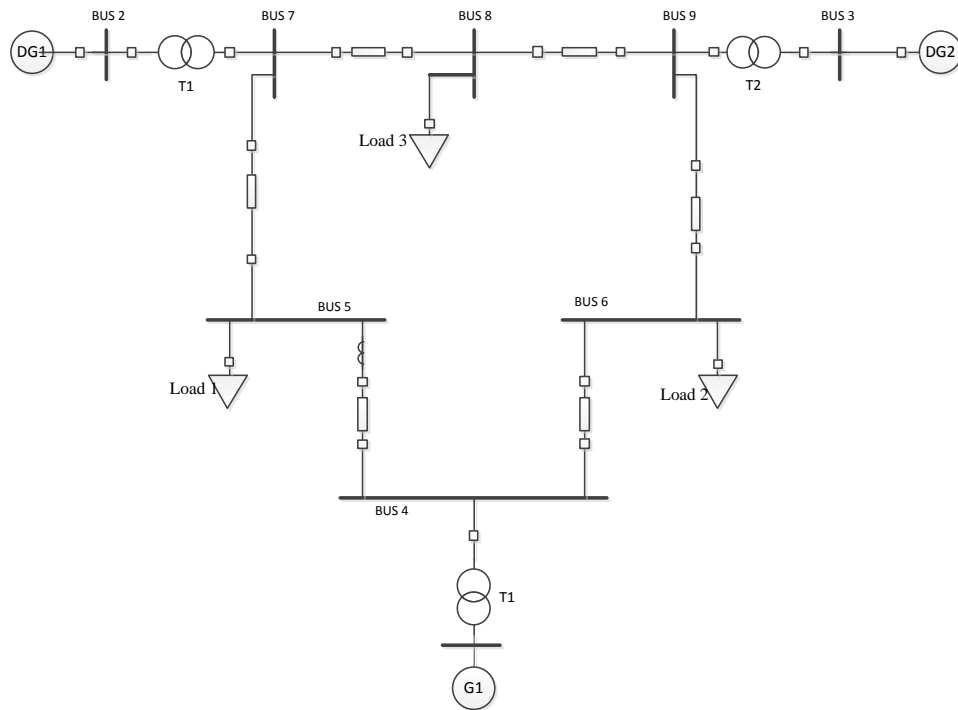
mendefinisikan *Distributed Generation* sebagai setiap unit pembangkit dengan kapasitas maksimum 50 MW sampai 100 MW, yang terhubung ke jaringan distribusi. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, mendefinisikan DG sebagai pembangkitan energi listrik yang dilakukan oleh peralatan yang lebih kecil dari pembangkit listrik pusat sehingga memungkinkan terjadi interkoneksi di hampir semua titik pada sistem tenaga listrik. Sedangkan *International Energy Agency (IEA)*, mendefinisikan *DG* sebagai unit pembangkit daya listrik pada sisi konsumen dan menyuplai daya listrik langsung ke jaringan distribusi lokal.

Pada penelitian ini DG akan yang digunakan berkapasitas kurang Dari 5MW. Terhubung melalui transformator pada jaringan ditribusi 20 kV yang nanti akan dilakukan ujicoba ON/OFF DG pada setiap kasus.

Pada sistem loop dan multi loop, integrasi DG dapat menimbulkan dampak meningkatnya arus gangguan serta mempengaruhi arah dari arus gangguan. Untuk itu penggunaan *directional over current relay* adalah solusi yang sangat efektif sebagai pengaman pada sistem loop dan multi loop yang juga terhubung dengan DG.

2.9 Sistem Jaringan Distribusi Loop

Sistem jaringan distribusi loop merupakan sistem jaringan distribusi yang memiliki lebih dari satu saluran dan sumber. Sehingga titik beban bisa disuplai lebih dari satu saluran saja. Sehingga pada sistem ini memiliki keberlangsungan penyaluran tenaga listrik lebih handal dibandingkan sistem radial. Namun membutuhkan sistem proteksi yang lebih kompleks juga. Berikut merupakan sistem loop IEEE 9 bus yang akan digunakan pada penelitian ini



Gambar 2.10 *Single Line Diagram IEEE 9 Bus*

Keuntungan dari sistem ini adalah :

- Penyaluran tenaga listrik dapat dilakukan secara terus-menerus dengan menggunakan dua atau lebih *feeder*.
- Merupakan pengembangan dari sistem—sistem yang terdahulu
- Tingkat keandalannya lebih tinggi.
- Dapat digunakan pada daerah-daerah yang memiliki tingkat kepadatan tinggi.
- Memiliki kapasitas dan keberlangsungan pelayanan sangat baik
- Gangguan yang terjadi pada salah satu saluran tidak akan mengganggu keberlangsungan pelayanan

Sementara kelemahan dari sistem ini adalah:

- Biaya konstruksi dan pembangunan lebih tinggi dibanding sistem radial
- Pengaturan dan design koordinas proteksi yang lebih kompleks dibandingkan sistem radial

2.10 *Particle Swarm Optimization (PSO)*

Particle Swarm Optimization (PSO) adalah metode optimasi yang didasarkan pada *swarm intelligence* ini disebut algoritma *behaviorally inspired*

sebagai alternative dari algoritma genetika, yang dsering disebut *evolution based prosedures*[15].

Dalam konteks optimasi multivariabel, kawanan diasumsikan mempunyai ukuran tertentu atau tetap dengan setiap partikel posisi awalnya yang terletak di suatu lokasi yang acak dalam ruang multidimensi. Setiap partikel diasumsikan memiliki dua parameter, yaitu posisi dan kecepatan. Setiap partikel bergerak dalam ruang tertentu dan mengingat posisi terbaik yang pernah dilalui atau ditemukan terhadap sumber makanan yang akan dituju atau nilai fungsi objektif. Setiap partikel menyampaikan informasi atau posisi terbaiknya kepada partikel yang lain sehingga partikel lain dapat menyesuaikan posisi dan kecepatan masing-masing berdasarkan informasi yang diterima mengenai informasi posisi terbaik tersebut. Berikut merupakan tahap dari PSO.

2.10.1 Proses Inisiasi

Inisialisasi sekumpulan *particle* secara random dimana setiap *particle* merepresentasikan solusi yang mungkin untuk masalah optimasi. Pada tahap ini biasanya beberapa parameter *particle* memiliki batasan-batasan pada masing-masing kasus yang akan dioptimasi. Hal ini dilakukan untuk mencegah nilai random inisialisasi yang terlalu jauh.

Parameter yang sangat penting diinisialisasi pada algoritma PSO adalah posisi dari setiap *particle* (X_i), kecepatan dari setiap *particle* (V_i), dan posisi terbaik dari setiap *particle* (P_i). Ketiga parameter ini dapat berupa lebih dari satu parameter yang akan dioptimasi atau biasa disebut dengan *multi objective*. Kemudian parameter lainnya yang harus diinisialisasi adalah nilai-nilai konstanta, seperti c_1 , c_2 , c_3 , r_1 , dan r_2 . Keempat konstanta tersebut dapat diperbaharui setiap iterasi nantinya atau hanya ditentukan sebuah angka (0 sampai 1).

2.10.2 Proses Iterasi dan Pembaharuan Parameter

Pada proses ini parameter-parameter penting yang sudah diinisiasi pada tahap sebelumnya masuk ke dalam tahap pembaharuan nilai-nilai parameter untuk mendapatkan nilai yang terbaik. Adapun formula untuk menghitung nilai-nilai parameter yang akan diperbaharui pada tahap iterasi adalah sebagai berikut [16]:

$$v_{k+1} = w_k v_k + c_1 r_1 (P_{best} - x^k) + c_1 r_2 (x^k - P_{notbest}) + c_2 r_3 (G_{best} - x^k) \quad (2.9)$$

Dimana :

- w_k = *inertia weight*
- c_1 = faktor *learning* untuk *particle*
- c_2 = faktor *learning* untuk *swarm*
- r_1 = random nilai 1 (0 sampai 1)
- r_2 = random nilai 2 (0 sampai 1)
- r_3 = random nilai 3 (0 sampai 1)
- v_k = kecepatan setiap *particle*
- x^k = posisi setiap *particle*
- v_{k+1} = kecepatan baru setiap *particle*
- P_{best} = posisi terbaik dari *particle*
- $P_{notbest}$ = posisi bukan terbaik dari *particle*
- G_{best} = posisi terbaik dari populasi

Nilai dari w_k disesuaikan dengan permasalahan optimasi yang diinginkan. Hal ini dikarenakan nilai dari formula untuk mencari nilai w_k adalah beragam. Pemilihan nilai w_k yang tepat akan mempercepat proses optimasi pada permasalahan yang diambil karena peran dari w_k adalah pengontrol keseimbangan antara eksplorasi *global* dan *local*.

Dalam algoritma PSO terdapat *update* pembatas kecepatan. Hal ini merupakan salah satu pembaharuan dari algoritma PSO . Hal ini dilakukan untuk mempercepat proses konvergensi [16]. Formula untuk membatasi kecepatan pada algoritma PSO adalah sebagai berikut :

$$v_{(i,j)} = R \times (X_{max} - X_{min}) \quad (2.10)$$

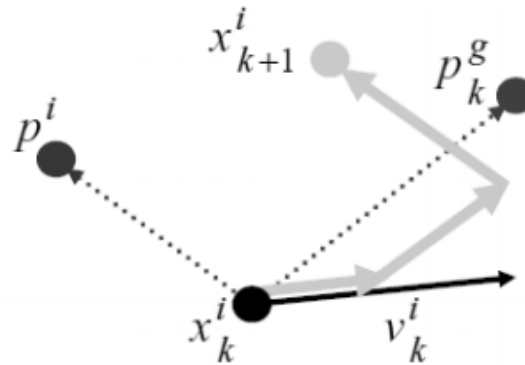
$$R = R_{initial} + (R_{final} - R_{initial})x(\frac{iter}{iter_max}) \quad (2.11)$$

Dimana :

$$R_{initial} > R_{final}$$

Setiap nilai dari posisi setiap *particle* (X_i) dimana X_i ditentukan nilai fluktuasinya sesuai dengan permasalahan optimasinya akan dibandingkan dengan

nilai terbaik yang dicapai oleh *local best* (P_i). Jika nilai dari fluktuasi $X_i < P_{best}$ maka P_{best} diganti dengan nilai fluktuasi dari X_i sedangkan jika nilai fluktuasi $X_i > P_{best}$ maka $P_{notbest}$ diganti dengan nilai fluktuasi dari X_i . Selain itu, setiap nilai fluktuasi dari *particle* akan dibandingkan dengan nilai terbaik yang dicapai dalam populasi G_{best} . Perubahan nilai posisi *particle* terhadap posisi terbaik *particle* dan posisi terbaik populasi dapat diilustrasikan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Ilustrasi Perubahan Posisi Setiap *Particle*[15]

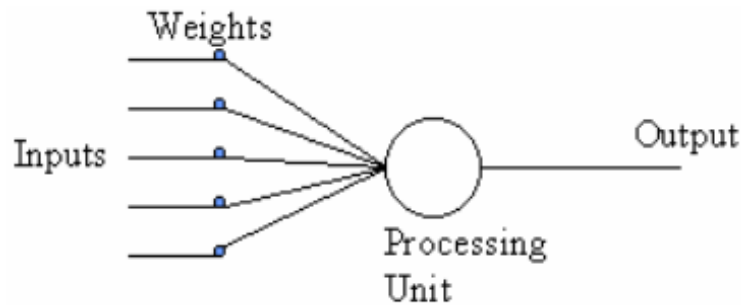
Jika pembaharuan nilai posisi setiap *particle* telah mencapai kondisi dimana nilai iterasi maksimum atau perulangan telah mencapai nilai optimum maka perulangan berhenti. Kemudian nilai optimumnya akan diambil sebagai hasil dari optimasi PSO. Jika belum mendapatkan hasil yang optimal, iterasi akan diulangi dengan masuk pada batasan antara posisi setiap *particle*, posisi terbaik *particle*, dan posisi terbaik populasi.

2.11 Artificial Neural Network (ANN)

Secara umum *Artificial Neural Network* (ANN) adalah jaringan dari sekelompok unit pemroses kecil yang dimodelkan berdasarkan jaringan syaraf manusia. NN ini merupakan sistem adaptif yang dapat merubah strukturnya untuk memecahkan masalah berdasarkan informasi eksternal maupun internal yang mengalir melalui jaringan tersebut. Secara sederhana ANN adalah sebuah alat pemodelan data statistik *non-linear*. ANN dapat digunakan untuk memodelkan hubungan yang kompleks antara input dan output untuk menemukan pola-pola data.

Secara mendasar, sistem pembelajaran merupakan proses penambahan pengetahuan pada ANN yang sifatnya kontinuitas sehingga pada saat digunakan pengetahuan tersebut akan dieksploitasikan secara maksimal dalam mengenali suatu

objek. *Neuron* adalah bagian dasar dari pemrosesan suatu *Neural Network*. Bentuk dasar dari suatu *neuron* dapat dilihat seperti gambar 2.16.



Gambar 2.12 Bentuk Dasar *Neuron*[17]

Keterangan Gambar 2.12 adalah sebagai berikut:

- *Input* merupakan masukan yang digunakan baik saat pembelajaran maupun dalam mengenali suatu objek.
- *Weight*, beban yang selalu berubah setiap kali diberikan *input* sebagai proses pembelajaran.
- *Processing Unit* merupakan tempat berlangsungnya proses pengenalan suatu objek berdasarkan pembebanan yang diberikan.
- *Output*, keluaran dari hasil pengenalan suatu objek.

2.11.1 *Backpropagation*

Backpropagation merupakan algoritma pembelajaran yang terawasi dan biasanya digunakan oleh perceptron dengan banak lapisan untuk mengubah bobot-bobot yang terhubung dengan neuron–neuron yang ada pada lapisan tersembunyinya algoritma *backpropagation* mengubah *error* output untuk mengubah nilai bobot-bobotnya dalam arah mundur. untuk mendapatkan *error* ini, tahapan perambatan maju harus dikerjakan terlebih dahulu. Pada saat perambatan maju neuron diaktifkan dengan menggunakan fungsi aktivasi yang dapat dideferensiasikan, seperti [18]:

Sigmoid

$$y = f(x) = \frac{1}{1+e^{-\sigma x}} \quad (2.12)$$

Dengan:

$$f'(x) = \sigma f(x)[1 - f(x)] \quad (2.13)$$

Atau Tan Sigmoid :

$$y = f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (2.14)$$

Atau

$$y = f(x) = \frac{1 - e^{-2x}}{1 + e^{-2x}} \quad (2.15)$$

Dengan:

$$f'(x) = [1 + f(x)][1 - f(x)] \quad (2.16)$$

Atau Pure linear

$$y = f(x) = x \quad (2.17)$$

Dengan:

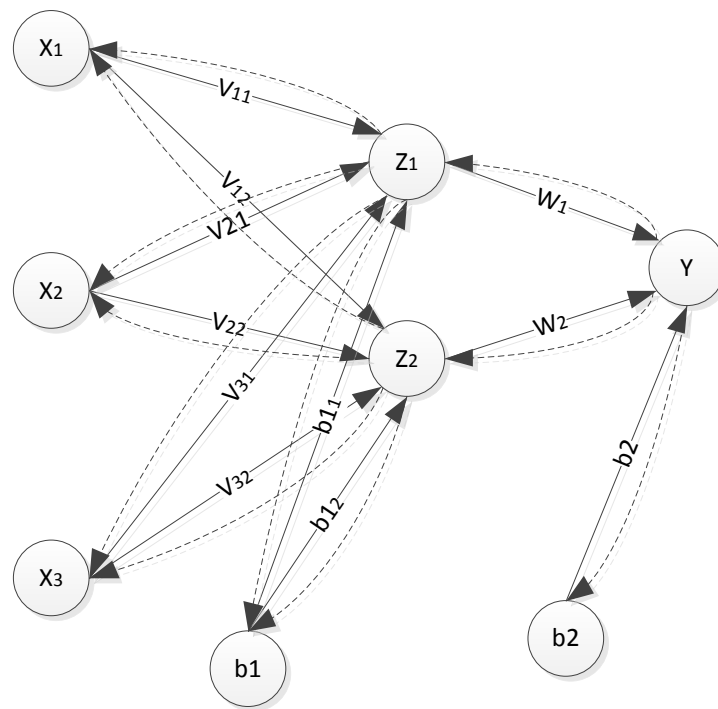
$$f'(x) = 1 \quad (2.18)$$

2.11.2 Membangun jaringan

Dua atau lebih neuron dapat dikombinasikan dalam lapisan untuk membentuk jaringan dan arsitektur jaringan dapat berisi satu atau lebih lapisan. Mengingat konektivitas *neuron* dalam jaringan, pengkombinasian ini dapat dibagi menjadi dua tipe:

- *Feedforward network*
- *Recurrent Network or Feedback Network*

Arsitektur yang digunakan pada penelitian ini adalah jaringan *feedforward* dengan instruksi *newff*. dengan menggunakan lebih dari 2 lapisan. 1 lapisan input, 1 lapisan tersembunyi, dan 1 lapisan keluaran. Setiap lapisan memiliki matriks bobot w , vektor bias b dan vektor *output* y seperti yang ditunjukkan gambar 2.13.



Gambar 2.13 Arsitektur *Neural Network*[18]

Ada beberapa yang harus diperhatikan pada saat membangun sebuah jaringan:

- Tetapkan persentase data pelatihan, validasi dan ujicoba.
- Tetapkan jumlah lapisan (lapisan masukan, lapisan tersembunyi dan lapisan keluaran)
- Tetapkan jumlah neuron pada lapisan tersembunyi.
- Tetapkan jumlah iterasi maksimum
- Tetapkan nilai *error goal*
- Tetapkan teknik normalisasi data *min* dan *max* atau *mean* dan deviasi
- Tetapkan algoritma pelatihan

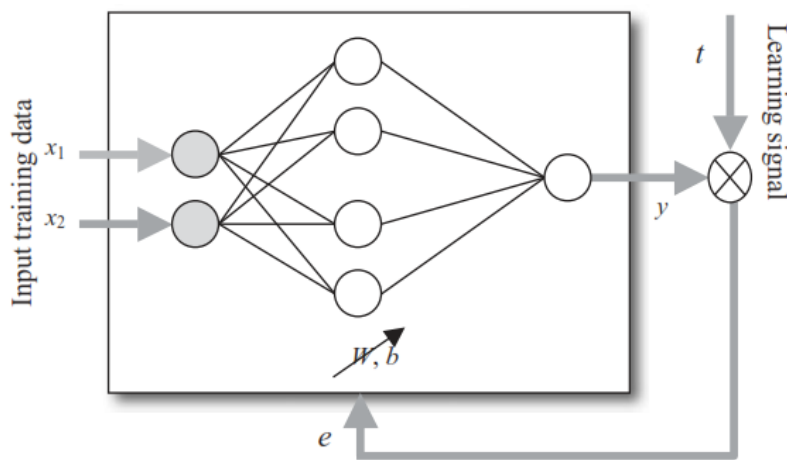
2.11.3 Pelatihan Jaringan

Learning (pembelajaran) dalam jaringan *neural network* adalah prosedur untuk memodifikasi bobot dan bias dari jaringan, juga disebut sebagai algoritma pelatihan memaksa jaringan untuk menghasilkan respon tertentu terhadap input yang spesifik. Banyak aturan *learning* yang digunakan. Dua jenis aturan *learning* yaitu:

- *Supervised Learning*

- *Unsupervised Learning*

Pada Penelitian ini menggunakan *supervised learning* sebagai metode pembelajaran. *Supervised learning* merupakan metode pembelajaran yang diawasi disediakan dengan *set data input/output* (disebut juga data *training*) dari perilaku jaringan yang tepat. Sebagai *input* yang diterapkan ke jaringan, *output* jaringan dibandingkan dengan output sasaran. Aturan pembelajaran kemudian digunakan untuk menyesuaikan bobot dan bias jaringan untuk memindahkan *output* jaringan lebih dekat ke sasaran. Belajar terawasi diilustrasikan pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 *Supervised Learning*

Metode pembelajaran mencoba untuk meminimalkan kesalahan saat ini dari semua elemen pengolahan. pengurangan kesalahan global dibuat dari waktu ke waktu dengan terus memodifikasi bobot sampai tujuan kesalahan yang dapat diterima tercapai. Pelatihan terdiri dari penyajian input dan output data ke jaringan. Data ini sering disebut sebagai pelatihan ditetapkan. Artinya, untuk setiap set masukan yang diberikan kepada sistem, sesuai yang diinginkan keluaran set disediakan juga:

$$[{}^1(x_1, x_2), {}^1(t_1)], [{}^2(x_1, x_2), {}^2(t_1)] \dots [{}^N(x_1, x_2), {}^N(t_1)] \quad (2.19)$$

Ada beberapa fungsi pelatihan untuk *backpropagation* seperti [18]:

- Gradient Descent*
- Resilient Backpropagation*
- Conjugate Gradient*

- d. *Quasi Newton*
- e. *Levenberg marquart*

Pada penelitian ini, jenis pelatihan yang digunakan adalah *Conjugate Gradient*. Penjelasan tentang *Conjugate Gradient* akan dibahas pada subbab 2.11.4.

2.11.4 Algoritma *Conjugate Gradient*

Pada metode *gradient descent*, pengaturan bobot dilakukan selalu dalam arah turun (*gradient negative*). Pada algoritma yang menggunakan *conjugate gradient*, pengaturan bobot tidak selalu arah menurun, tetapi disesuaikan dengan arah konjugasinya.

Apabila bobot-bobot baru (bobot input, bias input, bobot lapisan, dan bias lapisan) tergabisng dalam sebuah vector yang bernama W . nilai vector W dala epoh ke- K diperoleh dari:

$$W_k = W_{k-1} + a * dW_k \quad (2.20)$$

Dimana dW adalah arah yang akan dicari. Parameter a dicari untuk meminimumkan kerja selama arah pencarian. Fungsi *line search(searchFcn)* digunakan untuk menemukan titik minimum (a) tersebut. Ada beberapa line search yang dapat digunakan[18]:

- a. *Golden section Search*
- b. *Brent's Search*
- c. *Hybrid Biecton-Cubic Search*
- d. *Charalambou' Search*

Arah pencarian pertama (dW) awal, masih berupa negative gradient dari kinerja. Arah pencarian berikutnya dihitung dari gradient baru dan arah pencarian sebelumnya, dengan rumus:

$$dW_k = -gW_k + dW_{k-1} * Z \quad (2.21)$$

Dengan gW adalah vector yang berisi ($\phi 1$, $\beta 1$, $\phi 2$, dan $\beta 2$) para meter Z dapat dihitung dengan beberapa cara, yaitu [18]:

a. Flechter-Reeves Update

$$Z = \frac{gW'_k * gW_k}{gW'_{k-1} * gW_{k-1}} \quad (2.22)$$

b. Polak-Ribiere

$$Z = \frac{(gW_k * gW_{k-1})' * gW_k}{gW'_{k-1} * gW_{k-1}} \quad (2.23)$$

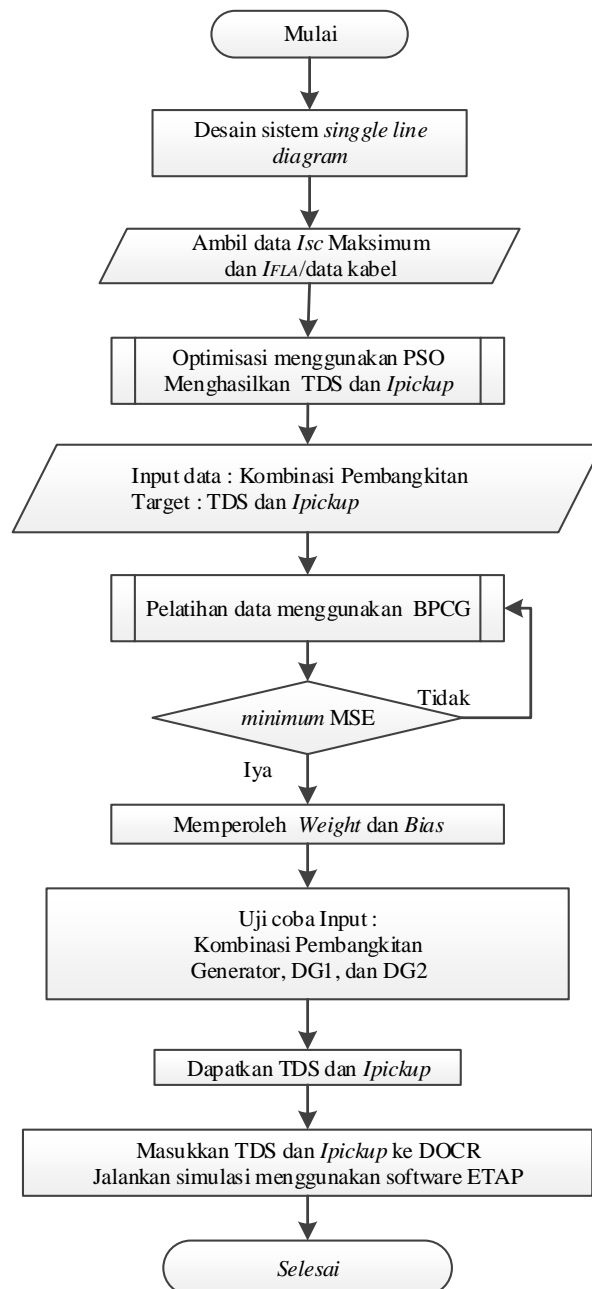
Dasar teori merupakan semua teori yang dipilih berdasarkan kajian pustaka yang melatarbelakangi permasalahan penelitian tesis yang dilakukan. Dasar teori juga akan digunakan sebagai pedoman untuk mengerjakan penelitian lebih lanjut. Bentuk dasar teori dapat berupa uraian kualitatif, model atau persamaan matematis. Pembahasan teori diutamakan yang terkait dan menunjang penelitian tesis saja.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Proses Penelitian

Melakukan sebuah penelitian yang baik dan benar salah tidak terlepas dari perencanaan dan proses penelitian yang sudah dirancang sebelumnya. Proses penelitian ini digambarkan dalam sebuah *flowchat* sebagai berikut:



Gambar 3.1 *Flow Chart* Proses Penelitian

Berikut perincian dari proses penelitian diatas:

1. Pembuatan siggle line diagram pada aplikasi ETAP
2. Pengambilan data kabel dari data *sheet* kabel yang digunakan, simulasi load flow untuk mendapatkan I_{FLA} dan simulasi hubung singkat maksimum $\frac{1}{2}$ *Cycle* di setiap bus dan setiap perubahan kombinasi pembangkitan.
3. Proses optimalisasi menggunakan PSO dengan mencari waktu operasi paling minimum disetiap perubahan kombinasi pembangkitan.
4. Mendapatkan TDS dan *Ipickup* hasil optimalisasi dengan waktu total operasi rele paling minimum.
5. Pengambilan data semua kondisi gangguan, lokasi gangguan, jenis gangguan dan kombinasi pembangkitan sebagai data masukkan untuk training BCG. Masukkan juga TDS dan *Ipickup* hasil optimalisasi sebagai target pelatihan.
6. Proses pelatihan *Artificial neural network* BCG dilakukan beberapa kali dengan merubah jumlah neuron di lapisan tersembunyi. Sampai mendapatkan nilai MSE yang paling kecil dan konstan.
7. Weight dan bias hasil pelatihan digunakan sebagai ujicoba data masukan untuk mendapatkan nilai TDS dan *Ipickup*.
8. Bandingkan nilai TDS dan *Ipickup* target dan dengan keluaran dari ujicoba.
9. Masukkan dataTDS dan *Ipickup* pada setiap DOCR disetiap kombinasi pembangkitan.
10. Simulasikan menggunakan ETAP untuk memastikan koordinasi proteksi sudah benar.
11. Rekam semua data proses penelitian.

3.2 Data Single Line Diagram System Loop

Dalam simulasi koordinasi proteksi adaptif diujicobakan pada diagram satu garis system loop IEEE 9 bus yang di modif dengan ditambahkan DG. Pembangkit utama pada sistem ini berupa generator yang di atur *swing*. DG1 terhubung dengan bus 2 dan DG2 dengan bus 3. Adapun jenis dari DG adalah generator sinkron. DG dapat dioperasikan dengan mengatur CB yang terletak sebelum DG. Tabel 3.1 dan 3.2 ditampilkan spesifikasi *grid* dan generator.

Tabel 3.1 Data Generator

No	Jenis	Rating Daya(MW)	Rating Tegangan(kV)	Power Faktor(%)
1	Generator	18	13,5	85

Tabel 3.2 Data Pembangkit Tersebar

No	Jenis	Rating Daya(MW)	Rating Tegangan(kV)	Power Faktor(%)
1	DG1	3,5	13,5	85
2	DG2	3	13,8	85

Beban-beban yang terpasang pada simulasi ini terdiri dari *Lumped Load*. Beban jenis ini berupa gabungan beban motor dan beban *static*. Kapasitas beban *Lumped Load* dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Data Beban

No	Beban	Bus	MVA	Tegangan(kV)	Power Faktor(%)
1	Load 1	5	7	20	85,00
2	Load 2	6	6	20	85,00
3	Load 3	8	5	20	85,00

Tabel 3.4 Data Saluran

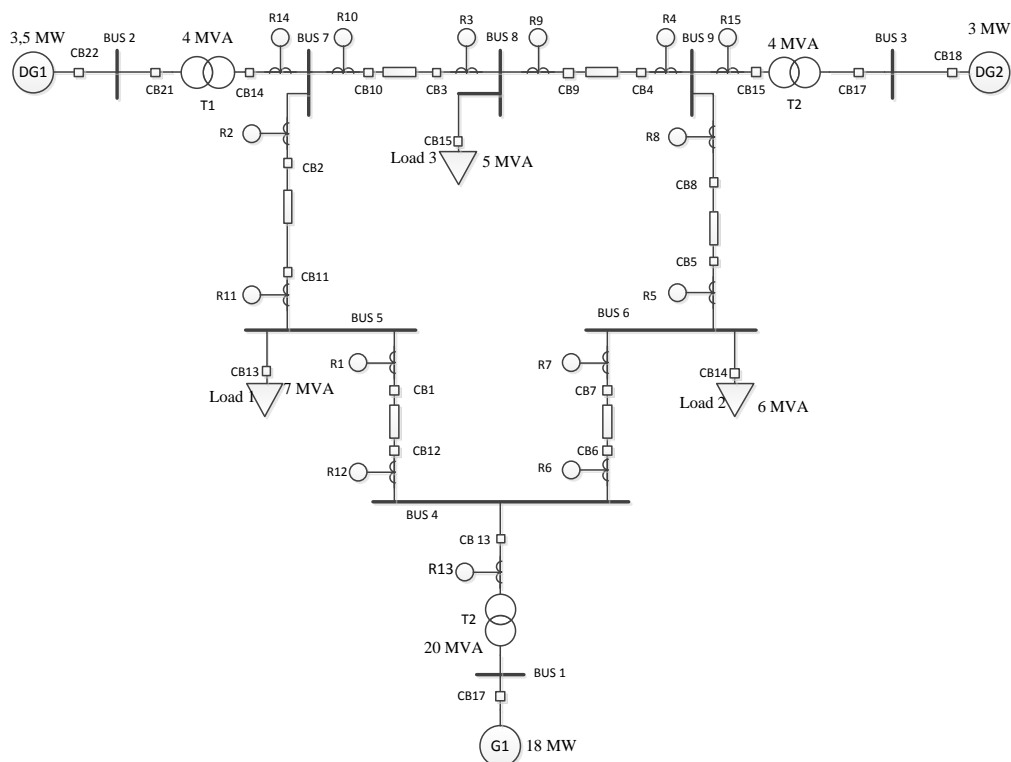
Line	Bus	R/kmOhm	X/KmOhm	Jarak(m)
1	4-5	0,16	0,102	1000
2	4-6	0,16	0,102	1000
3	5-7	0,16	0,102	1200
4	6-9	0,16	0,102	1000
5	8-9	0,16	0,102	1000
6	7-8	0,16	0,102	1000

Tabel 3.5 Pasangan Rele Utama dan Rele *Backup*

No	Rele Utama	Rele Backup	No	Rele Utama	Rele Backup
1	R1	R6	10	R7	R12
2	R1	R13	11	R7	R13
3	R2	R1	12	R8	R7
4	R3	R2	13	R9	R8
5	R3	R14	14	R9	R15
6	R4	R3	15	R10	R9
7	R5	R4	16	R11	R10
8	R5	R15	17	R11	R14
9	R6	R5	18	R12	R11

3.3 Single Line Diagram

Plan yang digunakan pada penelitian ini adalah diagram satu garis distribusi tenaga IEEE 9 bus yang di modif dengan tambahan 2 pembangkit tersebar. Berikut merupakan diagram satu garis distribusi tenaga listrik IEEE 9 bus yang di modif.



Gambar 3.2 Single line diagram IEEE 9 bus

3.4 Pengambilan data I_{fla} saluran

Untuk mendapatkan kurva *inverse* rele maka diperlukan pengambilan $I_{sc_{max}}$ pada setiap kondisi pembangkitan dan I_{fla} setiap peralatan sistem. setelah itu lakukan perhitungan TDS setiap iterasi sampai didapatkan hasil yang *konvergen*. Data I_{fla} pada saluran loop dengan menggunakan nilai maksimum arus yang diperbolehkan pada saluran.

Heesung Non-Mag. 50 Hz Code : 150
 XLPE 100 % 20 kV 3/C CU 150 mm²

Tabel 3.6 Data Maksimum Arus Kabel XLPE 3 core

10-90 kV XLPE 3-core cables		
Cross section mm ²	Copper conductor	Aluminium conductor
	A	A
95	300	235
120	340	265
150	375	300
185	420	335
240	480	385
300	530	430
400	590	485
500	655	540
630	715	600
800	775	660
1000	825	720

Berikut merupakan tabel diameter saluran yang digunakan beserta arus maksimum yang bisa dibebankan pada saluran.

Tabel 3.7 Data I_{fla} saluran

Line	Bus	Diameter (mm ²)	Ampere
1	4-5	150	300
2	4-6	150	300
3	5-7	150	300
4	6-9	150	300
5	8-9	95	235
6	7-8	95	235

3.5 Perancangan Perubahan Topologi Jaringan

Jaringan distribusi dengan pembangkit tersebar memiliki karakteristik perubahan konfigurasi yang disebabkan adanya perubahan status DG yaitu kondisi *On/Off*. Hal tersebut menyebabkan beberapa pengaruh terhadap koordinasi proteksi jaringan tersebut. Skema kondisi perubahan topologi jaringan yang dapat terjadi pada simulasi ini diantaranya adalah sebagai berikut :

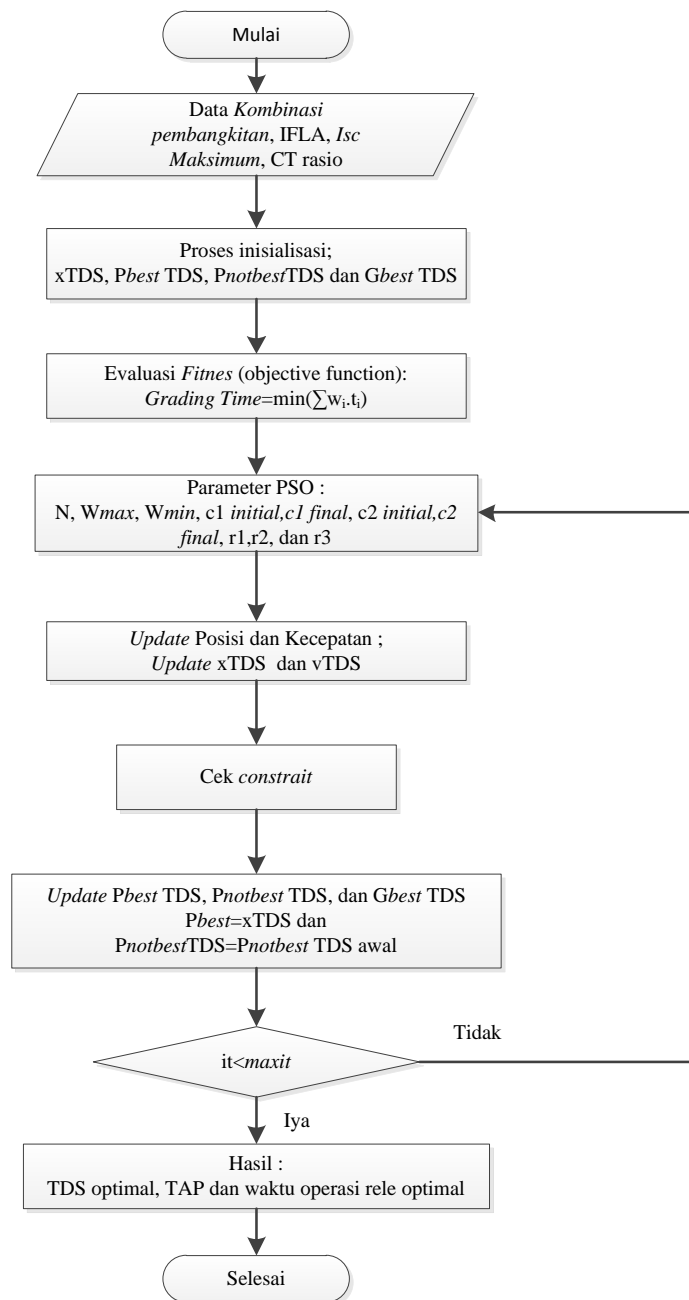
1. Skema 1 : Skema dengan terhubung *generator* utama, DG1, dan DG2.
2. Skema 2 : Skema dengan terhubung *generator* utama ditambah DG 2 *on*.
3. Skema 3 : Skema dengan terhubung *generator* utama ditambah DG 1 *on*.
4. Skema 4 : Skema dengan terhubung *generator* saja.

Tabel 3.8 Kombinasi Pengambilan Data Pembelajaran ANN

Skema	Kondisi Pembangkitan		
	G	DG1	DG2
1	1	1	1
2	1	0	1
3	1	1	0
4	1	0	0

3.6 Optimisasi Koordinasi Proteksi Menggunakan PSO

Pada saat melakukan optimisasi koordinasi proteksi pada sistem distribusi loop menggunakan algoritma PSO, dilakukan beberapa langkah guna untuk mencapai nilai TDS dan waktu operasi yang optimal. *Flowchart* dalam penggunaan algoritma PSO pada koordinasi rele DOCR dilakukan untuk mempermudah penyusunan algoritma. *Flowchart* algoritma PSO disusun seperti Gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Flowchart* Algoritma PSO

Penjelasan tentang sistematika penyusunan *flowchart* algoritma PSO untuk optimalisasi waktu operasi rele adalah sebagai berikut :

1. Langkah pertama

Pada tahap ini sejumlah data, seperti arus FLA, arus kontribusi hubung singkat maksimal pada setiap rele utama, arus kontribusi hubung singkat maksimal pada setiap rele *backup*, rasio CT, dan pasangan rele utama dan *backup* diambil

dan dianalisa pada *software* ETAP 12.6.0, Data-data tersebut diambil sesuai dengan keadaan yang diinginkan, yaitu keadaan DG *on* atau *off*.

2. Langkah kedua

Proses inisiasi parameter posisi TDS, arus *pickup*, nilai awal posisi terbaik TDS (*PbestTDS*), dan nilai awal global posisi terbaik TDS (*GbestTDS*) dilakukan pada tahap ini. Inisiasi nilai-nilai posisi TDS dilakukan dengan cara melakukan pengambilan nilai acak pada sejumlah populasi sesuai dengan batasan yang ditentukan. Nilai arus *pickup* ditentukan dengan mengambil sebuah nilai dari *range* yang telah ditentukan. Dalam Penelitian ini diambil *range* dalam kondisi *lowset*. Adapun *constraint* yang digunakan untuk menginisiasi nilai posisi TDS dan arus *pickup* adalah sebagai berikut [] :

$$TDS_{i \min} \leq TDS \leq TDS_{i \max} \quad (3.1)$$

$$1,05 \times I_{FLA} \leq I_p \leq 1,4 \times I_{FLA} \quad (3.2)$$

3. Langkah ketiga

Nilai hasil acak pada tahap kedua dikonversikan menjadi domain waktu dan dimasukkan kedalam fungsi objektif. Fungsi objektif yang digunakan adalah :

$$\text{Min (J)} = \sum_{i=1}^n w_i t_i \quad (3.3)$$

Dimana n merupakan jumlah rele, t_i merupakan waktu operasi rele utama pada saat gangguan, dan w_i merupakan koefisien yang tergantung pada probabilitas gangguan yang terjadi pada setiap zona proteksi. Pada Penelitian ini diberikan nilai w_i adalah 1. Hal ini mengacu pada referensi.

4. Langkah keempat

Pada tahap ini, nilai-nilai parameter PSO ditentukan agar dapat masuk ke dalam proses algoritma PSO selanjutnya. Parameter-parameter PSO yang ditentukan nilainya antara lain adalah N (jumlah populasi), c_1 *initial* (koefisien *cognitive* awal), c_1 *final* (koefisien *cognitive* akhir), c_2 *initial* (koefisien *social* awal), c_2 *final* (koefisien *social* akhir), $R^{initial}$ (*Dynamic coefficient* awal), R^{final} (*Dynamic coefficient* akhir), dan nilai *random* (0 sampai 1) untuk parameter r (r_1 , r_2 , dan r_3).

5. Langkah kelima

Proses *update* beberapa parameter PSO terjadi pada tahap ini. Parameter yang diperbaharui antara lain adalah posisi (x), kecepatan (v), koefisien c_1 dan c_2 , dan *dynamic coefficient* (R). Formula yang digunakan untuk memperbaharui nilai dari parameter-parameter tersebut adalah :

$$V_i = w * V_i + (c_1 * r_1 * (Pbest_i - X_i)) + (c_i * r_2 * (X_i - Pnotbest_i)) + (c_2 * r_3 * (Gbest_i - X_i)) \quad (3.4)$$

$$X_i = X_i + V_i \quad (3.5)$$

6. Langkah keenam

Pada tahap ini parameter – parameter PSO yang berhubungan dengan *fitness function* akan dievaluasi berdasarkan *constraint* yang telah ditetapkan. Adapun *constraint* yang harus dipenuhi, di antaranya adalah :

- a. Selisih waktu antara rele utama dan rele *backup* atau *coordination time interval* (CTI) pada saat gangguan adalah lebih besar atau sama dengan 0,2 – 0,4 detik

$$t_{backup} - t_{utama} \geq CTI$$

- b. Waktu maksimal operasi rele utama sebesar 1 detik

7. Langkah ketujuh

Apabila parameter-parameter yang telah didapat dari proses *update* dan proses *constraint* parameter posisi $Pbest$ TDS dan $Pnotbest$ TDS.

$$Pbest \text{ TDS} = xTDS$$

$$Pnotbest \text{ TDS} = Pnotbest \text{ TDS}_{awal}$$

8. Langkah kedelapan

Setelah batasan *fitness function* dan parameter-parameter koordinasi proteksi terpenuhi, proses iterasi akan berhenti pada posisi maksimal iterasi yang ditentukan. Kemudian akan diperoleh nilai parameter-parameter TDS yang optimal.

3.7 Perancangan Koordinasi Proteksi Adaptif Menggunakan ANN

Backpropagation Conjugate Gradienti (BCG)

Setelah selesai dilakukan optimalisasi akan didapat nilai TDS dan *Ipickup* yang paling optimal disetiap kombinasi pembangkitan. Jumlah yang dihasilkan bisa

saja digunakan langsung dimasukkan pada *master control* namu apabila semakin banyak kombinasi pembangkitan dan jumlah rele yang digunakan maka jumlah data yang harus dimasukkan pada master control akan semakin banyak. Namun apabila menggunakan ANN data yang dimasukkan pada master control lebih sedikit Karena hanya bobot dan bias hasil dari pelatihan beserta rumus pelatihan.

Selanjutnya langkah untuk perancangan koordinasi adaptif menggunakan BPCG :

1. Variable input untuk pelatihan ANN
 - a. Kombinasi pembangkitan
 - b. Arus hubung singkat
 - c. Jenis gangguan
 - d. Arus *Full Load Ampere* (I_{FLA})
 - e. Lokasi gangguan
2. Variable target
 - a. *Time Delay Setting* (TDS)
 - b. *Ipickup*

Proses dan algoritma ANN dalam mempelajari input dan output untuk koordinasi proteksi adaptif dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Data pelatihan
 - Pada penelitian ini ada terdapat 4 data pelatihan disetiap data pelatihan terdapat 3 variable input dan 30 target. Dari 30 target terdapat TDS dan *Ipickup* untuk 15 rele.
 - Dari 4 data arsitektur pelatihan menggunakan 100% sebagai data pelatihan.
2. Arsitektur ANN

Arsitektur jaringan yang dilatih merupakan jaringan MLP (*Multi Layer Perceptron*) dengan 3 lapisan, yaitu 1 lapisan masukan, 1 lapisan tersembunyi, dan lapisan keluaran.

- a. Sebelum proses data input dan target dilakukan proses normalisi pada range tertentu dengan bantuan mean dan deviasi standart. Fungsi `prestd`

akan membawa data kebentuk normal dengan mean =0 dan deviasi standart=1

b. Fungsi aktivasi yang digunakan adalah

- Tan Sigmoid (lapisan tersembunyi)

$$y = f(net) = \frac{1-e^{-2net}}{1+e^{-2net}} \quad (3.6)$$

- Pure linear (lapisan keluaran)

$$y = f(net) = net \quad (3.7)$$

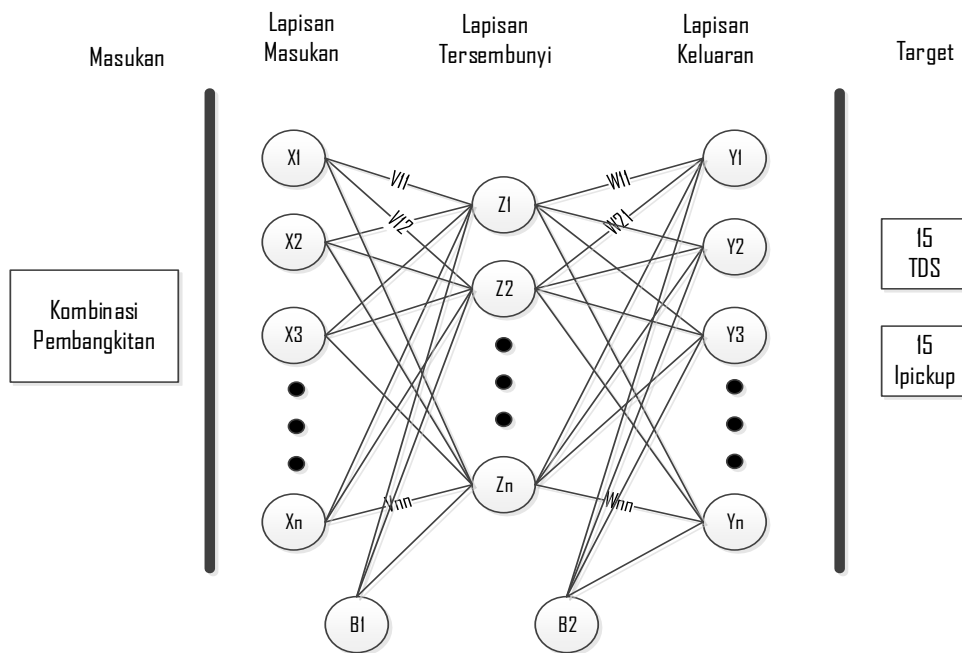
c. Pembagian data pelatihan, validasi dan ujicoba

Dialkukan instruksi *random* data dan pembagian secara acak:

- Data pelatihan = 60%
- Data ujicoba = 20%
- Data validasi = 20%(termasuk data pengujian dan pelatihan)

d. Pengaturan parameter pelatihan

- Jumlah *neuron* lapisan masukan = 3
- Jumlah *neuron* lapisan tersembunyi = dilakukan *train and error* hingga didapatkan MSE paling baik 1 samapai dengan 15 neuron
- Jumlah *neuron* lapisan keluaran = 30
- *Error goal* = 10^{-7}
- Algoritma pelatihan = *Conjugate Gradient*
- Jumlah itersi maksimum = 1000



Gambar 3.4 Arsitektur ANN untuk Penelitian

3. Proses Pembelajaran pelatihan

- Inisialisasi bobot (ambil bobot awal dengan nilai random yang cukup kecil)
- (Tetapkan: maksimum Epoch, Target Error, dan *Learning Rate* (α)).
- Inisialisasi: Epoch=0, MSE=1
- Langkah-langkah selama (Epoch<maksimum Epoch) dan (MSE>Target Error)
 - 1) Epoch=Epoch +1
 - 2) Untuk tiap-tiap pasangan elemen yang akan dilakukan pembelajaran:

Feedforward

- a. Tiap input (X_j , $i=1, 2, 3 \dots n$) menerima signal x_i dan meneruskan signal tersebut ke semua unit pada lapisan yang ada di atasnya (lapisan tersembunyi)
- b. Tiap unit pada suatu lapisan tersembunyi (Z_i , $j=1, 2, 3 \dots, p$) menjumlahkan sinyal input terbobot:

$$zin_j = b1_j + \sum_{i=1}^n x_i v_{ij} \quad (3.8)$$

gunakan fungsi aktivasi *tansig* (3.6) untuk menghitung sinyal outputnya.

Tiap unit output (Y_k , $k=1,2,3 \dots, m$) menjumlahkan signal input terbobot.

$$yin_k = b2_k + \sum_{i=1}^p z_i v_{jk} \quad (3.9)$$

- c. Gunakan fungsi aktivasi *purelin* (3.7) untuk menghitung signal outputnya

Backpropagation

- d. tiap unit output (Y_k , $K=1,2,3,\dots,m$) menerima target pola yang terhubung dengan pola input, hitung informasi *erornya*:

$$\delta 2_k = (t_k - y_k) f'(y_{in_k}) \quad (3.10)$$

$$\varphi 2_{jk} = \delta_k z_j$$

$$\beta 2_k = \delta_k$$

kemudian hitung koreksi bobot yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai W_{jk} :

$$\Delta W_{jk} = \alpha \varphi 2_{jk} \quad (3.11)$$

hitung juga koreksi bias (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai $b2_k$):

$$\Delta b2_k = \alpha \beta 2_k \quad (3.12)$$

- e. Tiap unit tersembunyi (Z_j , $j=1,2,3,\dots,P$) menjumlahkan delta inputnya (dari unit yang berada pada lapisan diatasnya):

$$\delta in_j = \sum_{k=1}^m \delta 2_k w_{jk} \quad (3.13)$$

Kalikan ini dengan turunan dari fungsi aktivasinya untuk menghitung informasi *error*:

$$\delta 1_j = \delta in_j f'(zin_j) \quad (3.14)$$

$$\varphi 1_{ij} = \delta 1_j x_j$$

$$\beta 1_j = \delta 1_j$$

kemudian hitung koreksi bobot (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai v_{ij}):

$$\Delta v_{ij} = \alpha \varphi 1_{ij} \quad (3.15)$$

hitung juga koreksi bias (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai $b1_j$):

$$\Delta b_{ij} = \alpha \phi 1_{ij} \quad (3.16)$$

- f. Tiap unit keluaran (Y_k , $k=1,2,3,\dots,m$) memperbaiki bias dan bobotnya ($j=0,1,2,\dots,p$) dengan perbaikan menggunakan persamaan (2.20) dengan (2.21):

$$w_{jk}(\text{baru}) = w_{jk}(\text{lama}) + \Delta w_{jk} \quad (3.17)$$

$$b_{2k}(\text{baru}) = b_{2k}(\text{lama}) + \Delta b_{2k} \quad (3.18)$$

- tiap unit tersembunyi (Z_j , $j=1,2,3,\dots,p$) memperbaiki bias dan bobotnya ($i=0,1,2,\dots,n$):

$$v_{ij}(\text{baru}) = v_{ij}(\text{lama}) + \Delta v_{ij} \quad (3.19)$$

$$b_{1j}(\text{baru}) = b_{1j}(\text{lama}) + \Delta b_{1j} \quad (3.20)$$

- 3) Hitung MSE
 - 4) Dapatkan nilai bobot dan bias simpan dengan data.mat
4. Prosedur pengujian
- a. Nilai bobot dan bias hasil pelatihan dipanggil pada program ujicoba dengan nilai MSE terkecil
 - b. Siapkan data ujicoba
 - c. Keluaran dari hasil pengujian adalah TDS dan *Ipickup*
 - d. Bandingkan nilai keluaran ujicoba dengan target awal pelatihan
 - e. menganalisa performa *artificial neural network* dalam koordinasi proteksi adaptif yang direncanakan.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Optimisasi Koordinasi Proteksi Pada sistem distribusi dengan DG menggunakan PSO

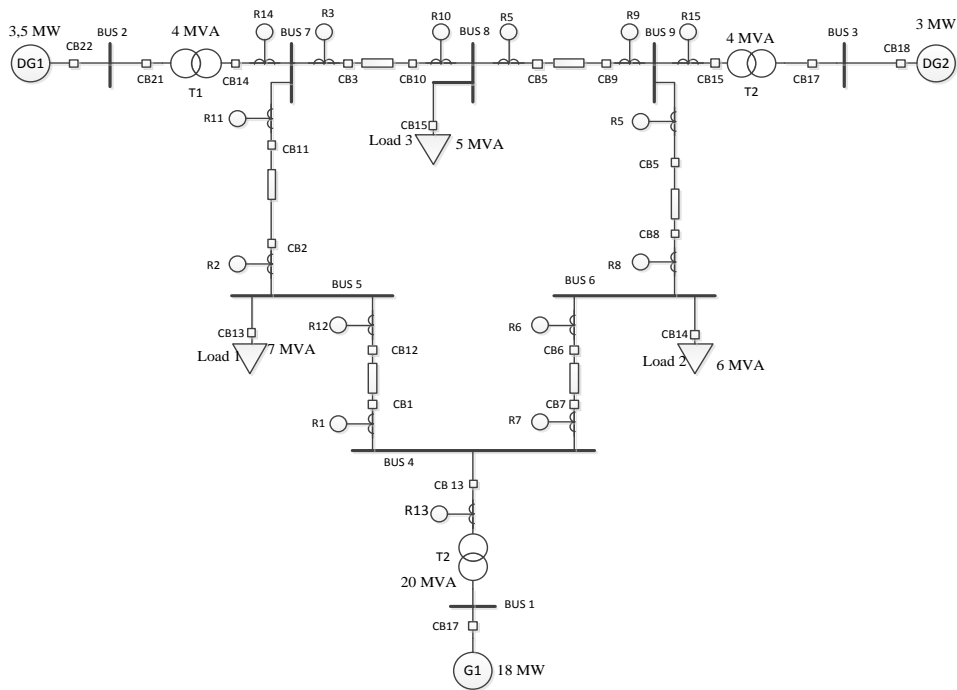
Optimalisasi dilakukan pada 4 kombinasi pembangkitan yang nantinya akan didapat nilai *lowset setting* pada rele dengan total waktu operasi paling optimal. Pada proses optimisasi, sistem distribusi loop dengan DG dibagi menjadi 4 kondisi pembangkitannya yaitu :

- a. Skema 1: Kondisi terhubung *generator* utama, DG2 dan DG1,
- b. Skema 2: Kondisi terhubung *generator* utama dan DG2,
- c. Skema 3: Kondisi terhubung *generator* utama dan DG1,
- d. Skema 4: Kondisi hanya terhubung *generator* utama.

Pembagian pengaturan rele berdasarkan pembangkitannya ini digunakan sebagai perhitungan secara akurat untuk semua kondisi pembangkitan. Optimalisasi ini dilakukan dalam beberapa kali uji sampai didapat hasil nilai TDS dan Ipickup dengan waktu total operasi rele tercepat.

4.1.1 Kondisi *Generator* Utama, DG2, dan DG1 (Skema 1)

Berikut *single line diagram* IEEE 9 bus saat kondisi pembangkitan terhubung oleh 1 *generator* utama, DG1 dan DG2.



Gambar 4.1 Sistem Saat Kondisi Pembangkitan Skema 1

Berikut merupakan tabel data arus gangguan, I_{FLA} dan rasio CT yang digunakan untuk proses optimalisasi untuk mendapatkan nilai TDS rele.

Tabel 4.1 Data I_{sc} 3 fasa 0,5 cycle, I_{FLA} dan CT Pada Skema 1

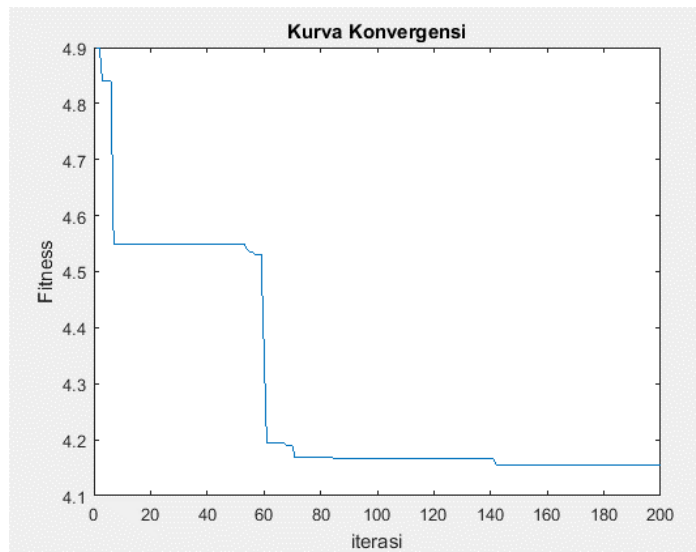
Rele	$I_{sc} \max$ (A)	I_{FLA} (A)	CT
1	2690	300	500/5
2	2370	300	500/5
3	2110	235	500/5
4	1830	235	500/5
5	1600	300	500/5
6	1390	300	500/5
7	2660	300	500/5
8	2420	300	500/5
9	2160	235	500/5
10	1880	235	500/5
11	1650	300	500/5
12	1370	300	500/5
13	1980	577	600/5
14	477	116	300/5
15	411	116	300/5

Tabel 4.2 Data Isc 3 fasa 0,5 cycle Rele Utama dan *Backup* Skema 1

<i>Isc 3 fasa 0,5 cycle</i>			
Rele Utama		Rele <i>Backup</i>	
1	2690	6	735
2	2370	1	1940
3	2110	2	1640
4	1830	3	1460
5	1600	4	1190
6	1390	5	950
7	2660	12	711
8	2420	7	1980
9	2160	8	1760
10	1880	9	1510
11	1650	10	1170
12	1370	11	937
7	2660	13	1960
1	1370	13	1960
3	2110	14	473
11	2420	14	473
5	1390	15	408
9	2420	15	408

Data pada Tabel 4.1 dan 4.2 digunakan untuk menghitung nilai TDS dan Ipickup dengan menggunakan algoritma PSO. Pada program simulasi ditentukan nilai - nilai dari parameter PSO adalah sebagai berikut:

Maksimum Iterasi	= 200
Ukuran populasi	= 1000
<i>Wmax</i>	= 0,9
<i>Wmin</i>	= 0,4
<i>TDS max</i>	= 0.25
<i>TDS min</i>	= 0.01



Gambar 4.2 Kurva *Konvergensi* Skema 1

Gambar 4.2 merupakan kurva *konvergensi* yang menunjukkan optimalisasi skema 1 dari 200 Iterasi yang ditetapkan nilai fitness *konvergen* pada nilai 4,1553, yang merupakan total waktu operasi keseluruhan rele. *Konvergen* pada iterasi antara ke 140 dan 160.

Tabel 4.3 TDS dan *Ipickup* Kondisi Pembangkitan Skema 1

Rele	<i>Ipickup</i>	TDS	Td (detik)
1	3.1500	0.1992	0.2216
2	3.1500	0.1452	0.2088
3	2.4675	0.2066	0.2292
4	2.4675	0.1525	0.2259
5	3.1500	0.0816	0.2632
6	3.1500	0.0279	0.1014
7	3.1500	0.2133	0.2405
8	3.1500	0.1694	0.2336
9	2.4675	0.1844	0.1950
10	2.4675	0.1260	0.1768
11	3.1500	0.0448	0.1355
12	3.1500	0.0463	0.2067
13	5.0488	0.0822	0.4400
14	2.0300	0.1439	0.5800
15	2.0300	0.1105	0.6970
Total			4.1553

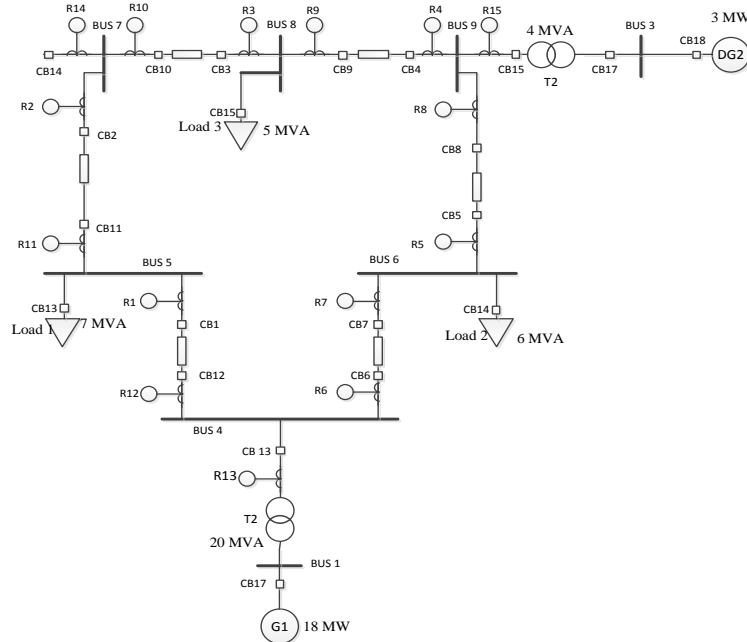
Tabel 4.4 Waktu Operasi Rele Utama dan Rele *Backup* Skema 1

Rele		td _{utama} (detik)	td _{backup} (detik)	CTI (detik)
Utama	Backup			
1	6	0.2216	0.4216	0.2000
2	1	0.2088	0.4316	0.2228
3	2	0.2292	0.4448	0.2156
4	3	0.2259	0.4860	0.2601
5	4	0.2632	0.5481	0.2849
6	5	0.1014	0.8062	0.7047
7	12	0.2405	0.9043	0.6639
8	7	0.2336	0.4390	0.2054
9	8	0.1950	0.4485	0.2535
10	9	0.1768	0.4047	0.2279
11	10	0.1355	0.4694	0.3339
12	11	0.2067	0.4565	0.2498
7	13	0.2405	0.4500	0.2095
11	14	0.1355	0.5906	0.4551
9	15	0.1950	0.7083	0.5133
1	13	0.2216	0.4500	0.2284
3	14	0.2292	0.5906	0.3614
9	15	0.1950	0.7083	0.5133

Tabel 4.3 dan 4.4 merupakan perkiran waktu operasi rele berdasarkan hitungan matematis didalam PSO dan bukan simulasi hubung singkat pada *single line diagram*.

4.1.2 Kondisi *Generator Utama* dan DG2 (Skema 2)

Berikut *single line diagram* IEEE 9 bus saat kondisi pembangkitan terhubung oleh generator utama, dan DG2.



Gambar 4.3 Sistem Saat Kondisi Pembangkitan Skema 2

Berikut merupakan tabel data arus gangguan, I_{FLA} dan rasio CT yang digunakan untuk proses optimalisasi untuk mendapatkan nilai *setting lowset* rele.

Tabel 4.5 Data Isc 3 fasa 0,5 cycle, I_{FLA} dan CT pada Skema 2

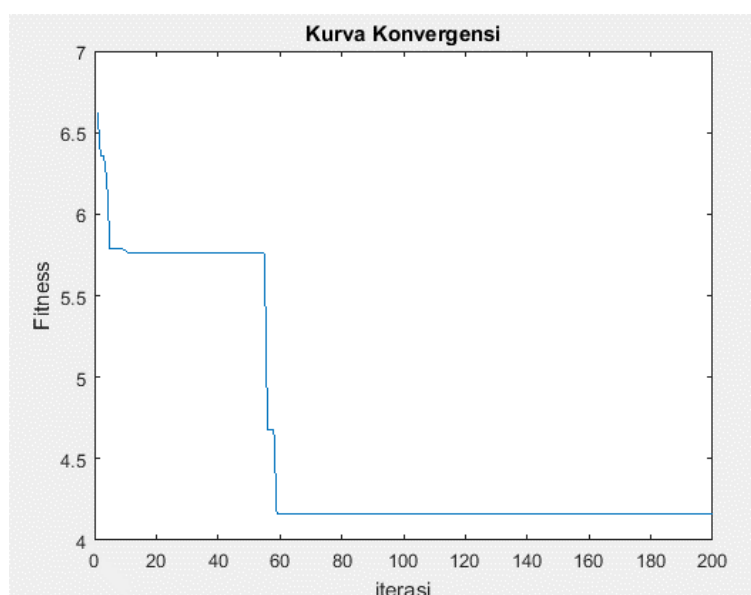
Rele	Isc max (A)	I_{FLA} (A)	CT
1	2570	300	500/5
2	2320	300	500/5
3	1680	235	500/5
4	1480	235	500/5
5	1320	300	500/5
6	1190	300	500/5
7	2400	300	500/5
8	2240	300	500/5
9	2060	235	500/5
10	1850	235	500/5
11	1220	300	500/5
12	1030	300	500/5
13	1980	577	600/5
14	0	0	300/5
15	411	116	300/5

Tabel 4.6 Data *Isc* 3 Fasa 0,5 cycle Rele Utama dan *Backup* Pada Skema 2

Isc 3 fasa 0,5 cycle			
	Rele Utama	Rele <i>backup</i>	
1	2570	6	609
2	2320	1	1900
3	1680	2	1680
4	1480	3	1110
5	1320	4	915
6	1190	5	750
7	2400	12	456
8	2240	7	1800
9	2060	8	1650
10	1850	9	1480
11	1220	10	1220
12	1030	11	598
7	2400	13	1960
1	2570	13	1960
3	1680	14	0
11	1220	14	0
5	1320	15	408
9	2060	15	408

Data pada tabel 4.5 dan 4.6 digunakan untuk menghitung nilai TDS dan *Ipickup* dengan menggunakan algoritma PSO. Pada program simulasi ditentukan nilai – nilai dari parameter PSO adalah sebagai berikut:

Maksimum Iterasi	= 200
Ukuran populasi	= 1000
Wmax	= 0,9
Wmin	= 0,4
TDS max	= 0.25
TDS min	= 0.01



Gambar 4.4 Kurva *Konvergensi* Skema 2

Gambar 4.4 merupakan kurva *konvergensi* yang menunjukkan optimalisasi skema 2 dari 200 Iterasi yang ditetapkan nilai fitness *konvergen* pada nilai 4,1646, yang merupakan total waktu operasi keseluruhan rele. *Konvergen* pada iterasi ke 60.

Tabel 4.7 TDS dan *Ipickup* Skema 2

Rele	<i>Ipickup</i>	TDS	Td (detik)
1	3.1500	0.2152	0.2626
2	3.1500	0.1769	0.2658
3	2.4675	0.1396	0.2463
4	2.4675	0.1379	0.3154
5	3.1500	0.0386	0.1864
6	3.1500	0.0262	0.1577
7	3.1500	0.1993	0.2795
8	3.1500	0.1814	0.2928
9	2.4675	0.2088	0.2431
10	2.4675	0.1819	0.2635
11	3.1500	0.0472	0.2697
12	3.1500	0.0223	0.1841
13	5.0488	0.0609	0.5032
14	00000	00000	00000
15	2.0300	0.0902	0.6944
Total			4.1646

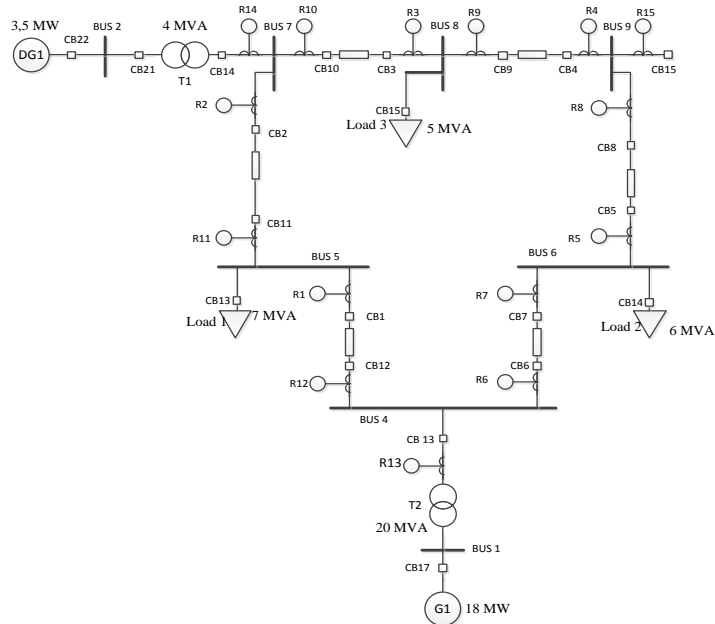
Tabel 4.8 Waktu Operasi Rele Utama dan Rele *Backup* Skema 2

Rele		td _{utama} (detik)	td _{backup} (detik)	CTI (detik)
Utama	Backup			
1	6	0.2626	0.7645	0.5020
2	1	0.2658	0.4866	0.2208
3	2	0.2463	0.5157	0.2694
4	3	0.3154	0.5807	0.2653
5	4	0.1864	0.8652	0.6788
6	5	0.1577	0.6613	0.5036
7	12	0.2795	1.6289	1.3494
8	7	0.2928	0.5038	0.2110
9	8	0.2431	0.5489	0.3057
10	9	0.2635	0.4776	0.2141
11	10	0.2697	0.6205	0.3508
12	11	0.1841	1.4500	1.2658
7	13	0.2795	0.5146	0.2351
9	15	0.2431	0.7057	0.4625
1	13	0.2626	0.5146	0.2521
9	15	0.2431	0.7057	0.4625

Tabel 4.7 dan 4.8 merupakan perkiran waktu operasi rele berdasarkan hitungan matematis didalam PSO dan bukan simulasi hubung singkat pada *single line diagram*.

4.1.3 Kondisi Terhubung *Generator Utama* dan DG1 (Skema 3)

Berikut *single line diagram* IEEE 9 bus saat kondisi pembangkitan terhubung oleh generator utama, dan DG1.



Gambar 4.5 Sistem Saat Kondisi Pembangkitan Skema 3

Berikut merupakan tabel data arus gangguan, I_{FLA} dan rasio CT yang digunakan untuk proses optimalisasi untuk mendapatkan nilai *setting lowset* rele.

Tabel 4.9 Data I_{sc} 3 fasa 0,5 cycle, I_{FLA} dan CT pada Skema 3

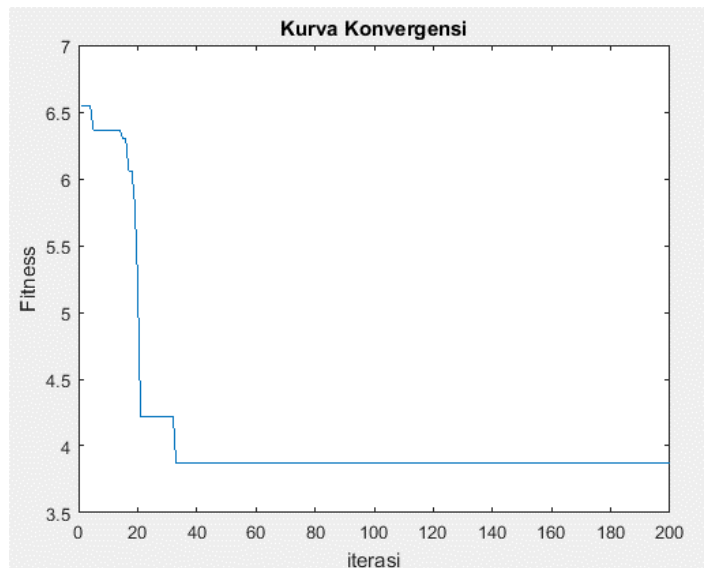
Rele	Isc max (A)	I_{FLA} (A)	CT
1	2460	300	500/5
2	2200	300	500/5
3	2020	235	500/5
4	1800	235	500/5
5	1220	300	500/5
6	1090	300	500/5
7	2560	300	500/5
8	2390	300	500/5
9	1790	235	500/5
10	1580	235	500/5
11	1420	300	500/5
12	1210	300	500/5
13	1980	577	600/5
14	477	116	300/5
15	0	0	300/5

Tabel 4.10 Data *Isc* 3 Fasa 0,5 cycle Rele Utama dan Rele *Backup* Pada Skema 3

Isc 3 fasa 0,5 cycle			
Rele Utama		Rele <i>backup</i>	
1	2460	6	498
2	2200	1	1780
3	2020	2	1550
4	1800	3	1430
5	1220	4	1220
6	1090	5	646
7	2560	12	617
8	2390	7	1950
9	1790	8	1790
10	1580	9	1210
11	1420	10	945
12	1210	11	777
7	2560	13	1960
1	2460	13	1960
3	2020	14	473
11	1420	14	473
5	1220	15	0
9	1790	15	0

Data pada tabel 4.9 dan 4.10 digunakan untuk menghitung nilai TDS dan Ipickup dengan menggunakan algoritma PSO. Pada program simulasi ditentukan nilai – nilai dari parameter PSO adalah sebagai berikut:

Maksimum Iterasi	= 200
Ukuran populasi	= 1000
Wmax	= 0,9
Wmin	= 0,4
TDS max	= 0.25
TDS min	= 0.01



Gambar 4.6 Kurva *Konvergensi* Skema 3

Gambar 4.6 merupakan kurva *konvergensi* yang menunjukkan optimalisasi skema 3 nilai fitness *konvergen* pada nilai 3.8720, yang merupakan total waktu operasi keseluruhan rele. Dari 200 Iterasi yang ditetapkan *konvergen* pada iterasi antara ke 20 dan 40.

Tabel 4.11 TDS dan *Ipickup* Skema 3

Rele	<i>Ipickup</i>	TDS	Td (detik)
1	3.1500	0.1915	0.2554
2	3.1500	0.1736	0.2907
3	2.4675	0.2240	0.2714
4	2.4675	0.1303	0.1996
5	3.1500	0.0242	0.1384
6	3.1500	0.0127	0.0923
7	3.1500	0.2263	0.2784
8	3.1500	0.1857	0.2626
9	2.4675	0.1542	0.2390
10	2.4675	0.1613	0.3225
11	3.1500	0.0335	0.1386
12	3.1500	0.0553	0.3219
13	5.0488	0.0696	0.5750
14	2.0300	0.0872	0.4864
15	0.0000	0.0000	0.0000
Total			3.8720

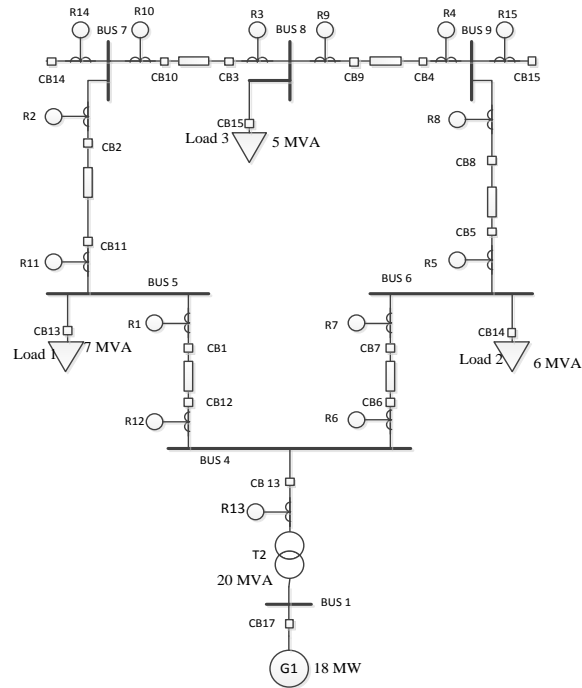
Tabel 4.12 Waktu Operasi Rele Utama dan Rele *Backup* Skema 3

Rele		td _{utama} (detik)	td _{backup} (detik)	CTI (detik)
Utama	Backup			
1	6	0.2554	0.6759	0.4205
2	1	0.2907	0.4953	0.2045
3	2	0.2714	0.5984	0.3270
4	3	0.1996	0.5498	0.3503
5	4	0.1384	0.4445	0.3061
6	5	0.0923	0.6044	0.5121
7	12	0.2784	1.5608	1.2824
8	7	0.2626	0.4852	0.2226
9	8	0.2390	0.4746	0.2356
10	9	0.3225	0.5354	0.2129
11	10	0.1386	0.9439	0.8053
12	11	0.3219	0.5265	0.2047
7	13	0.2784	0.5880	0.3096
11	14	0.1386	0.4952	0.3566
1	13	0.2554	0.5880	0.3326
3	14	0.2714	0.4952	0.2238

Tabel 4.11 dan 4.12 merupakan perkiran waktu operasi rele berdasarkan hitungan matematis didalam PSO dan bukan simulasi hubung singkat pada *single line diagram*.

4.1.4 Kondisi Hanya Terhubung *Generator Utama*(Skema 4)

Berikut *single line diagram* IEEE 9 bus saat kondisi pembangkitan hanya terhubung oleh *generator* utama.



Gambar 4.7 Sistem Saat Kondisi Pembangkitan Skema 4

Berikut merupakan tabel data arus gangguan, I_{FLA} dan rasio CT yang digunakan untuk proses optimalisasi untuk mendapatkan nilai *setting lowset* rele.

Tabel 4.13 Data I_{sc} 3 Fasa 0,5 Cycle, I_{FLA} dan CT Pada Skema 4

Rele	Isc max (A)	I_{FLA} (A)	CT
1	2330	300	500/5
2	2160	300	500/5
3	1590	235	500/5
4	1450	235	500/5
5	949	300	500/5
6	887	300	500/5
7	2300	300	500/5
8	2210	300	500/5
9	1680	235	500/5
10	1540	235	500/5
11	992	300	500/5
12	872	300	500/5
13	1980	577	600/5
14	0	0	300/5

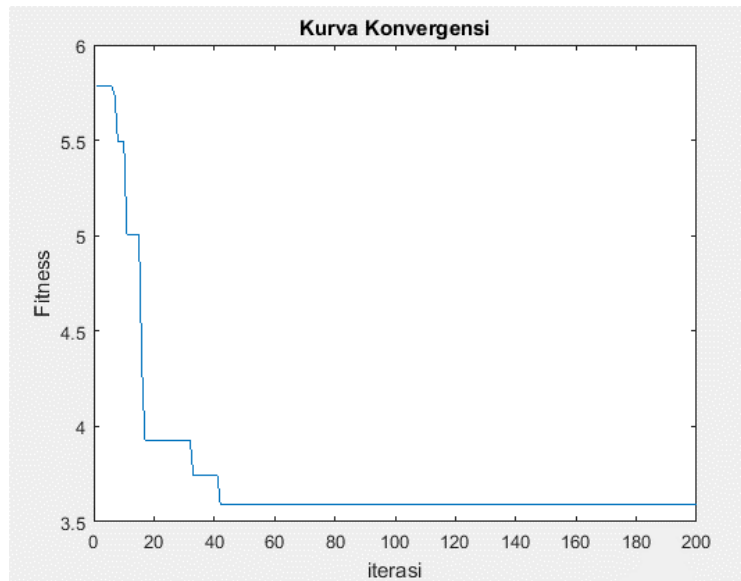
15	0	0	300/5
----	---	---	-------

Tabel 4.14 Data Isc 3 Fasa 0,5 *cycle* Rele Utama dan Rele *Backup* Pada Skema 4

Isc 3 fasa 0,5 <i>cycle</i>			
	Rele Utama	Rele <i>Backup</i>	
1	2300	6	371
2	2160	1	1740
3	1590	2	1590
4	1450	3	1080
5	949	4	949
6	887	5	444
7	2300	12	364
8	2210	7	1770
9	1680	8	1680
10	1540	9	1180
11	992	10	992
12	872	11	437
7	2300	13	1960
1	2300	13	1960
3	1590	14	0
11	992	14	0
5	949	15	0
9	1680	15	0

Data pada tabel 4.13 dan 4.14 digunakan untuk menghitung nilai TDS dan Ipickup dengan menggunakan algoritma PSO. Pada program simulasi ditentukan nilai – nilai dari parameter PSO adalah sebagai berikut:

Maksimum Iterasi	= 200
Ukuran populasi	= 1000
Wmax	= 0,9
Wmin	= 0,4
TDS max	= 0.25
TDS min	= 0.01



Gambar 4.8 Kurva *Konvergensi* Skema 4

Gambar 4.8 merupakan kurva *konvergensi* yang menunjukkan optimalisasi skema 3 nilai fitness *konvergen* pada nilai 3,5944 dan juga merupakan total waktu operasi keseluruhan rele. Dari 200 Iterasi yang ditetapkan *konvergen* pada iterasi ke 40.

Tabel 4.15 TDS dan *Ipickup* Kondisi Skema 4

Rele	<i>Ipickup</i>	TDS	Td (detik)
1	3.1500	0.1985	0.2957
2	3.1500	0.1403	0.2439
3	2.4675	0.1063	0.2099
4	2.4675	0.0970	0.2313
5	3.1500	0.0233	0.2305
6	3.1500	0.0108	0.1242
7	3.1500	0.1884	0.2881
8	3.1500	0.1728	0.2867
9	2.4675	0.1699	0.2997
10	2.4675	0.1742	0.3671
11	3.1500	0.0372	0.3337
12	3.1500	0.0171	0.2057
13	5.0488	0.0578	0.4780
14	0.0000	0.0000	0.0000
15	0.0000	0.0000	0.0000

Total	3.5944
-------	--------

Tabel 4.16 Waktu Operasi Rele Utama dan Rele *Backup* Skema 4

Rele		td _{utama} (detik)	td _{backup} (detik)	CTI (detik)
Utama	Backup			
1	6	0.2957	2.2220	1.9263
2	1	0.2439	0.5381	0.2942
3	2	0.2099	0.4585	0.2486
4	3	0.2313	0.4684	0.2371
5	4	0.2305	0.5624	0.3319
6	5	0.1242	1.8864	1.7623
7	12	0.2881	4.0875	3.7993
8	7	0.2867	0.4930	0.2064
9	8	0.2997	0.5037	0.2040
10	9	0.3671	0.6216	0.2544
11	10	0.3337	0.9189	0.5852
12	11	0.2057	3.2183	3.0126
7	13	0.2881	0.4888	0.2007
1	13	0.2957	0.4888	0.1931

Tabel 4.16 merupakan perkiran waktu operasi rele berdasarkan hitungan matematis didalam PSO dan bukan simulasi hubung singkat pada *single line diagram*.

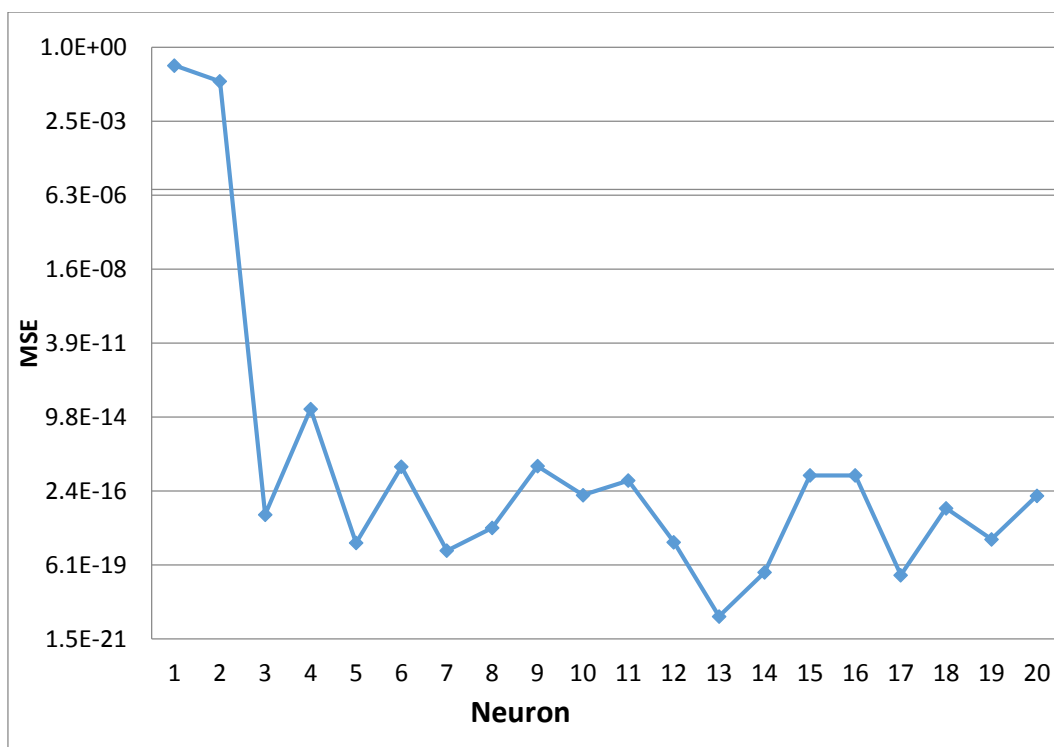
Simulasi optimalisasi dilakukan beberapa kali disetiap kondisi hingga didapatkan nilai waktu operasi rele yang paling optimal. Dari Tabel 4.1 -4.16 dapat diamati bahwa nilai waktu operasi rele utama telah memenuhi *constraint* yang telah ditentukan, yaitu $t_{utama} < 1$ detik . Selain itu, nilai CTI (*Coordination Time Interval*) dari waktu operasi rele utama dan rele *backup* sesuai dengan *constraint* $CTI \geq 0,2$ detik. Data TDS dan *Ipickup* rele hasil optimalisasi PSO akan dijadikan target dari pelatihan ANN-BCG untuk mendapatkan model ANN untuk adaptif koordinasi rele pada sistem loop yang terhubung oleh DG.

4.2 Pelatihan dan Pengujian *Artificial Neural Network* BCG

Pada penelitian ini proses *neural network* menggunakan teknik pelatihan algoritma BCG. Dari 4 item data setiap baris terdiri dari 3 masukan dan 30 keluaran berupa nilai TDS dan *Ipickup* setiap rele. Data target yang akan digunakan sebagai data pelatihan adalah sebanyak 120 data terdiri dari 15 TDS dan 15 *Ipickup* disetiap

4 kombinasi pemabangkitan. Data pelatihan ditampilkan pada lembar lapiran penelitian ini.

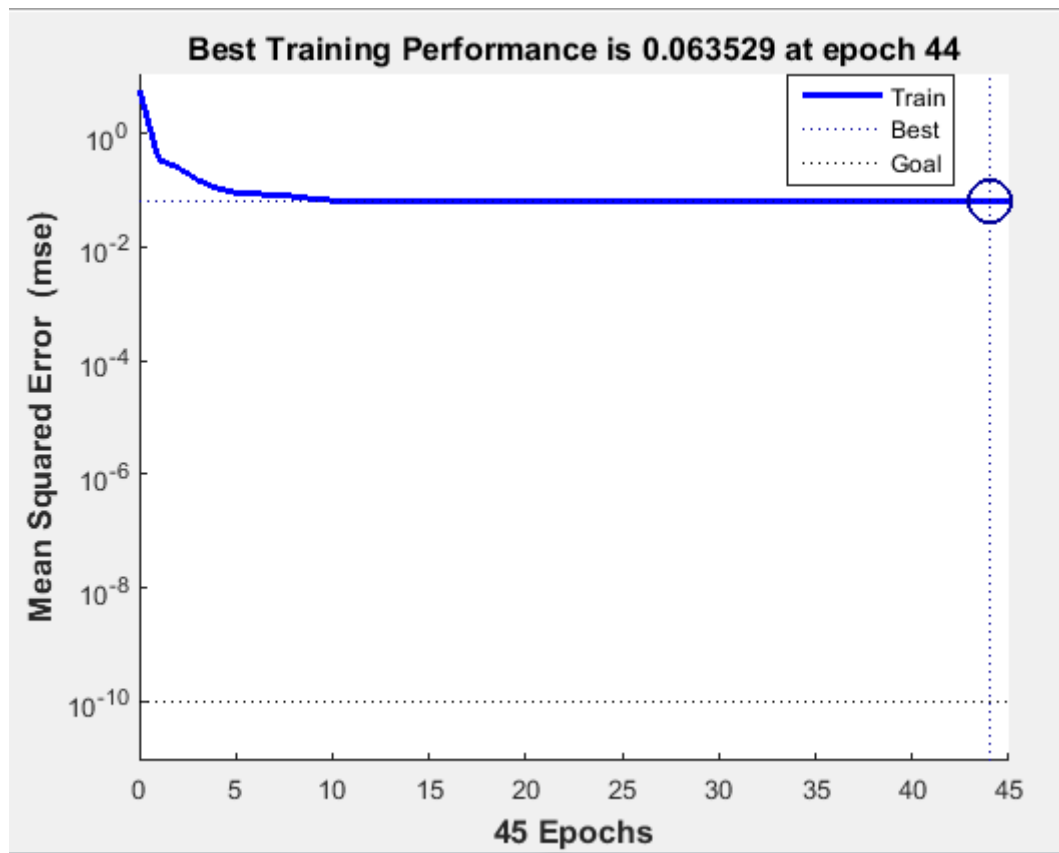
Jaringan *neural network* ini menggunakan 3 lapisan yang terdiri dari 1 lapisan masukan, 1 lapisan tersembunyi, dan 1 lapisan keluaran. Untuk mendapatkan nilai *Mean Squared Error* (MSE) yang paling minimum maka pelatihan dilakukan beberapa kali dengan cara merubah jumlah neuron didalam lapisan tersembunyi hingga hingga mendapatakan nilai MSE kecil dengan jumlah neuron paling sedikit. Data pelatihan dan pengujian dilapirkan di lembar lampiran.



Gambar 4.9 Kurva *Best Performen Validasi*

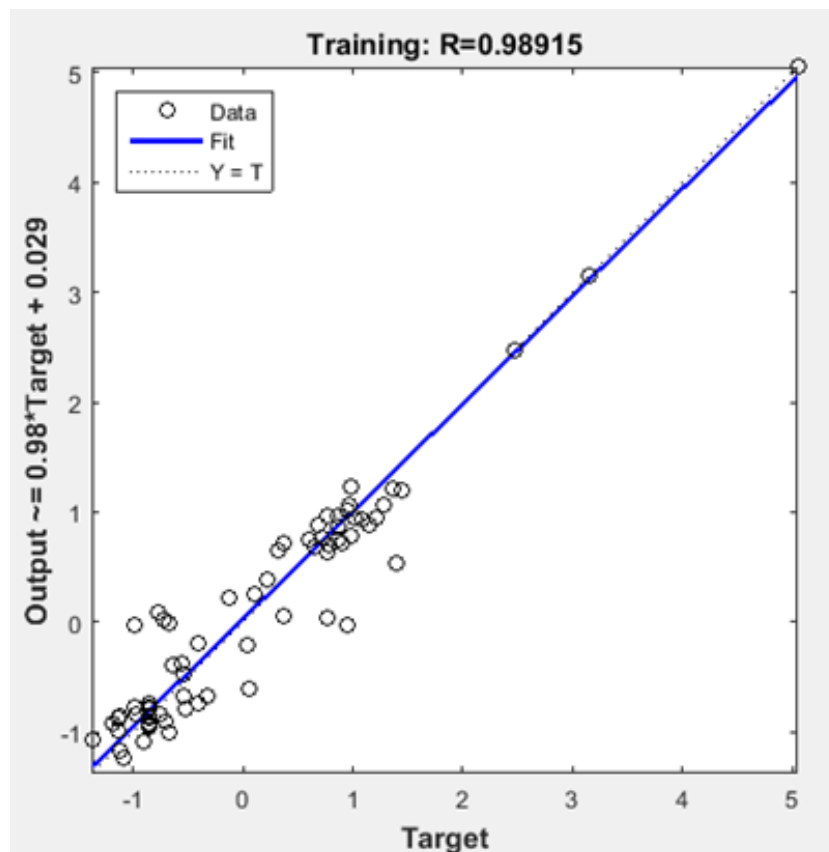
Gambar 4.9 menunjukkan kurva *Mean Squared Error* (MSE) hasil dari pelatihan 4 data dengan jumlah neuron yang berbeda pada lapisan tersembunyi. Dari 20 variasi jumlah neuron yang terdapat pada lapisan tersembunyi didapat nilai MSE terkecil dengan jumlah neuron yang minimum. Namun semakin banyak jumlah neuron pada lapisan tersembunyi akan semakin banyak data yang harus diamsukkan pada *master control*. Sehingga pengambilan keputusan untuk menggunakan jumlah neuron pada lapisan tersumbunyi dengan melihat hasil jumlah digit angka dibelakang koma yang dibutuhkan untuk setting rele. Jumlah

neuron yang akan digunakan pada saat pengujian adalah 2 neuron. Hal ini Karena digit angka kesamaan antara target dan output untuk setting rele sudah dicapai dengan hanya menggunakan 2 neuron pada lapisan tersembunyi. Hal ini juga berpengaruh pada jumlah data bobot dan bias yang harus dimasukkan pada *master control* tidak terlalu banyak sehingga tidak memerlukan kapasitas memori yang besar pula. Nilai *training performance* = 0.063529 kurva performen pelatihan ditampilkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Kurva *Best Performance* Pelatihan

Gambar 4.10 menunjukkan kurva pelatihan hingga mencapai nilai *best performance*. Nilai *performance* adalah nilai MSE terkecil yang bisa tercapai selama pelatihan. Semakin nilai kecil MSE yang maka semakin mirip antara target dan output ANN. Kurva kesesuaian ditampilkan pada gambar di dan 4.11



Gambar 4.11 Kurva Kesesuaian dengan Target

Dari gambar 4.11 menunjukkan kurva kesesuaian antara data target dan output. Dengan nilai kesesuaian mencapai 0.98915 yang artinya kesesuaian antar data target dan keluaran ANN mirip. Dengan nilai MSE yang ditunjukkan oleh gambar 4.10. Setelah proses pelatihan, pengujian, dan validasi selesai TDS dan *Ipickup* hasil pengujian ANN dibandingkan dengan target sebelumnya setiap kombinasi pembangkitan. Berikut merupakan perbandingan data target dan data hasil pengujian ANN.

Dari hasil pelatihan akan didapat nilai bobot dan bias yang nantinya akan digunakan untuk proses pengujian. Pada keadaan nyata nilai bobot dan bias akan dimasukkan pada *master control*. Total bobot dan bias yang harus dimasukkan pada master control sejumlah 98 data lebih kecil dibandingkan dengan *look up tabel* yang harus memasukkan sejumlah data target sebanyak 120 data.

Tabel 4.17 Data Bobot dan Bias Hasil Pelatihan ANN

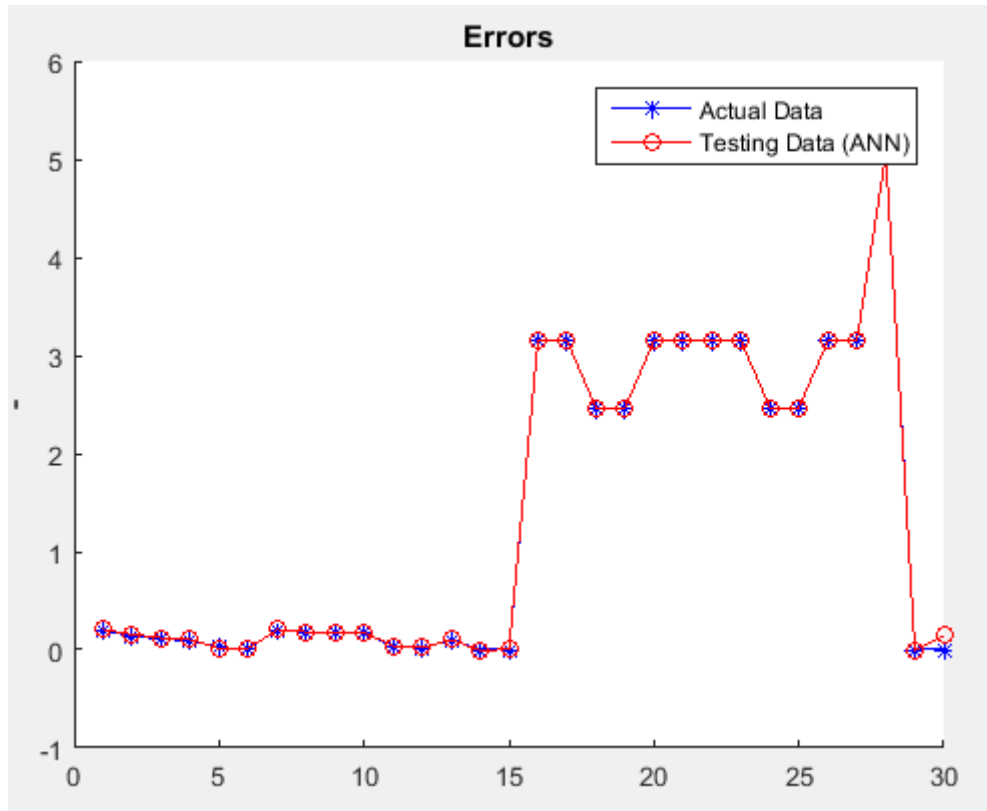
Bobot Awal			
Neuron	x1	x2	x3
y1	0.52203	0.15690	-1.08398
y2	-1.02195	0.64329	0.07114

Neuron	Bias Awal
y1	-1.4579343
y2	0.95822271

Bobot Akhir		
Neuron	y1	y2
z1	-0.59958	-0.52308
z2	0.009397	0.050605
z3	0.06844	1.647601
z4	-1.21758	1.194321
z5	-1.37453	0.996468
z6	-1.72651	0.459112
z7	1.010483	1.310952
z8	1.652012	-0.28156
z9	-1.56846	-0.62759
z10	0.131924	-1.68367
z11	-1.74565	-0.21947
z12	0.314112	1.631646
z13	1.670889	-0.15589
z14	-0.00903	1.710063
z15	-1.75828	0.342693
z16	-1.9E-17	-5.6E-17
z17	2.78E-17	-8.8E-17
z18	8.52E-18	-1.3E-16
z19	3.78E-17	1.17E-16
z20	-1.7E-16	5.46E-17
z21	1.83E-16	-9E-17
z22	-1.9E-18	-5.1E-17
z23	1.44E-16	-1.2E-16
z24	-5.9E-17	1.43E-17
z25	5.02E-17	1.98E-16
z26	1.58E-16	5.74E-17
z27	2.39E-17	-2E-16
z28	4.11E-17	1.07E-16
z29	0.161504	1.698386
z30	-1.75937	0.259063

Neuron	Bias Akhir
y1	-0.309464228
y2	0.006858826
y3	0.110533786
y4	-0.521551874
y5	-0.605443757
y6	-0.798023346
y7	0.54188145
y8	0.771058586
y9	-0.774448796
y10	-0.017107332
y11	-0.839249688
y12	0.226426311
y13	0.785973459
y14	0.076708175
y15	-0.818618171
y16	3.15
y17	3.15
y18	2.4675
y19	2.4675
y20	3.15
y21	3.15
y22	3.15
y23	3.15
y24	2.4675
y25	2.4675
y26	3.15
y27	3.15
y28	5.04875
y29	0.157127081
y30	-0.823098322

Berikut kurva kesesuaian antara target dan keluaran dari hasil pengujian.



Gambar 4.12 Kurva Pengujian Keseuainan antara Data Target dan Data Keluaran Pada Skema 4

Dari hasil pengujian terhadap bobot dan bias atau yang bisa disebut model ANN hasil dari pelatihan untuk mendapatkan nilai keluaran yang sama dengan data output dan data target didapat nilai MSE.

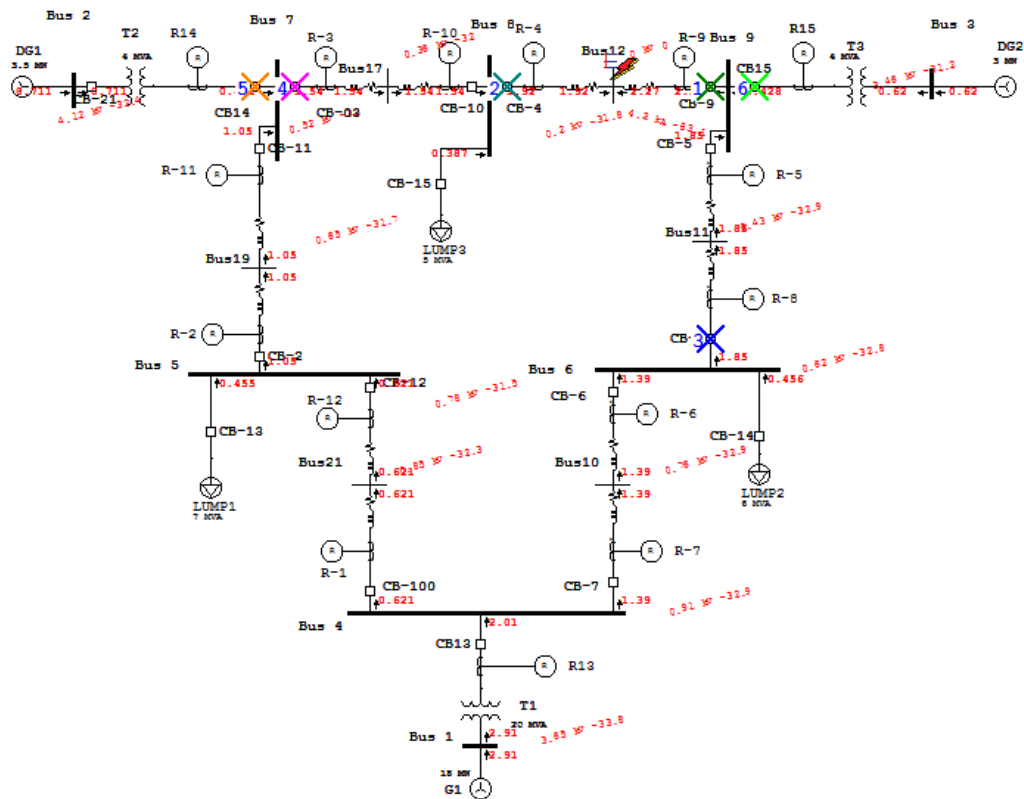
4.2.1 Kondisi Terhubung dengan *Generator*, DG1 dan DG2 (Skema1)

Setelah dilakukan optimalisasi nilai TDS pada skema 1 maka berikutnya dilakukan pelatihan dan pengujian ANN menggunakan teknik pelatihan algoritma BCG Perbandingan target dan keluaran pelatihan ANN saat kondisi pembangkitan oleh *generator* utama, DG1, dan DG2 ditunjukkan pada tabel 4.17.

Tabel 4.18 Kondisi Pembangkitan Terhubung Generator, DG1, dan DG2

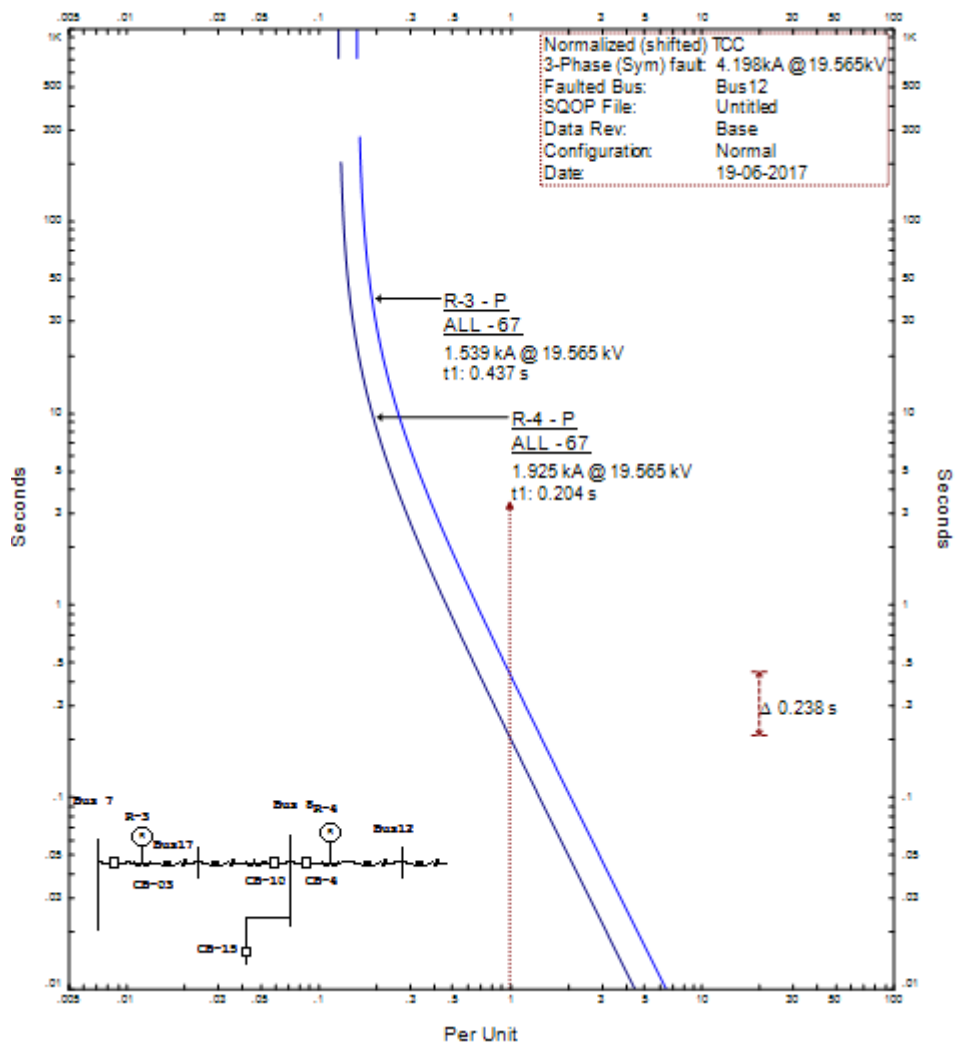
Rele	PSO		ANN	
	<i>TDS</i>	<i>Ipickup</i>	<i>TDS</i>	<i>Ipickup</i>
R1	0.1992	3.1500	0.2044	3.1500
R2	0.1452	3.1500	0.1504	3.1500
R3	0.2066	2.4675	0.2078	2.4675
R4	0.1525	2.4675	0.1582	2.4675
R5	0.0816	3.1500	0.0744	3.1500
R6	0.0279	3.1500	0.0288	3.1500
R7	0.2133	3.1500	0.2131	3.1500
R8	0.1694	3.1500	0.1713	3.1500
R9	0.1844	2.4675	0.1882	2.4675
R10	0.1260	2.4675	0.1298	2.4675
R11	0.0448	3.1500	0.0451	3.1500
R12	0.0463	3.1500	0.0492	3.1500
R13	0.0822	5.0488	0.0854	5.0488
R14	0.1439	2.0300	0.1393	2.0249
R15	0.1105	2.0300	0.1141	2.1419

Pada Tabel 4.17 menunjukkan perbandingan nilai TDS dan *Ipickup* target dan hasil pengujian ANN. Sampai 4 angka dibelakang koma nilai TDS hampir semuanya mirip hanya pada Rele 1, 2, 5, dan 14 yang berbeda. Untuk nilai *Ipickup* Rele 14 dan 15 angka ke 2 dibelakang koma ada perbedaan. Namun perbedaannya sangat kecil dan dalam batas aman. Hal itu dibuktikan berdasarkan dari hasil simulasi koordinasi rele masih terkoordinasi dengan sangat baik yang ditunjukkan oleh simulasi koordinasi rele pada gambar 4.12.



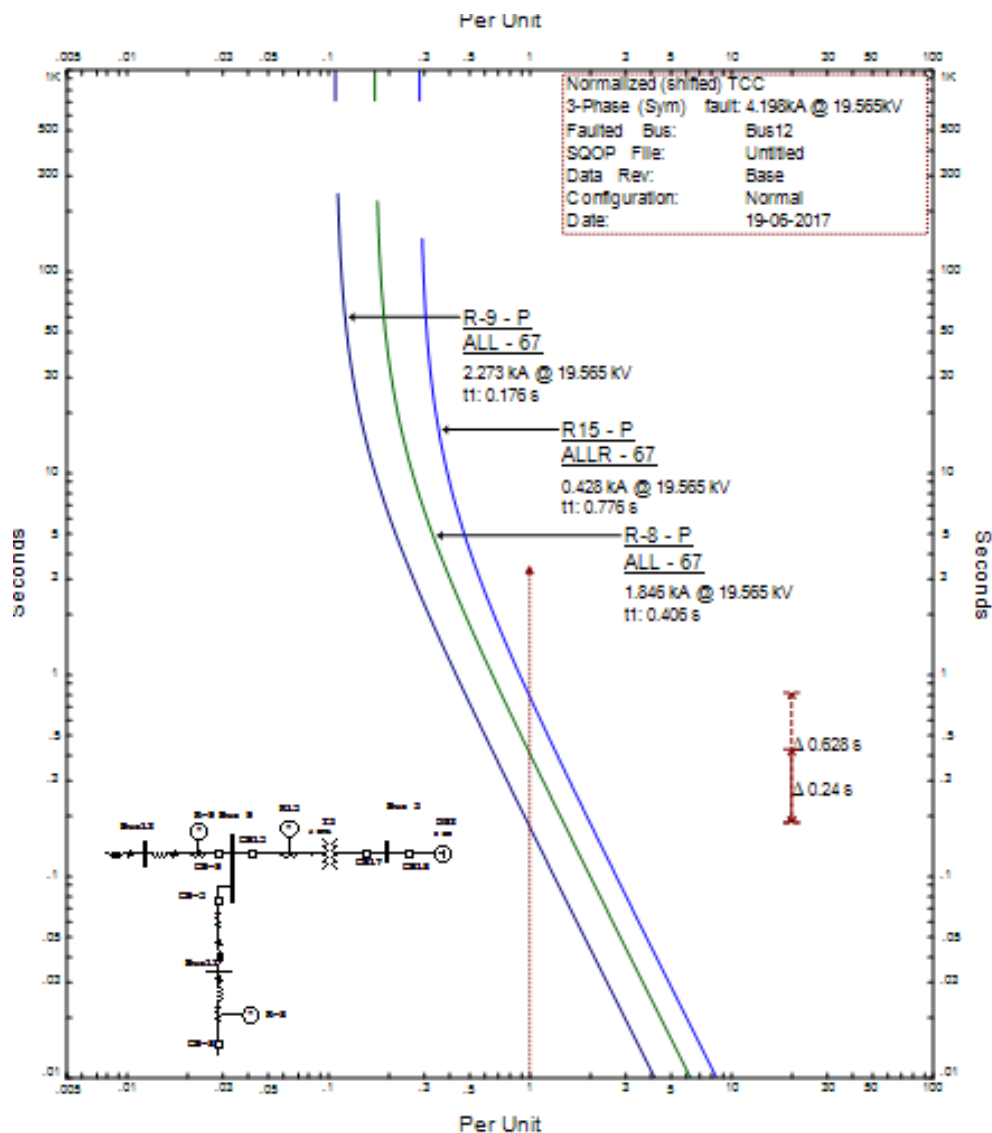
Gambar 4.13 Simulasi Koordinasi Rele Skema 1

Dari simulasi hubung singkat ditengan saluran antara bus 9 dan bus 8 Rele terkoordinasi sangat baik rele bekerja sesuai urutanya koodinasinya, berikut kurva koordinasi rele ketika terjadi hubung singkat 3 fasa 0,5 *cycle*.



Gambar 4.14 Kurva Rele 4 dan Rele 3 Saat Hubung Singkat 3 fasa 0.5 cycle pada Bus 12

Rele 4 *trip* terlebih dahulu pada waktu 0,204 detik dengan arus yang terdeteksi 1,925 kA dan disusul rele 3 sebagai rele *backup* pada 0,437 detik dengan arus *trip* 1,359 kA.



Gambar 4.15 Kurva Rele 9, 8, dan 15 Saat Hubung Singkat 3 fasa 0.5 cycle pada Bus 12

Rele 9 *trip* terlebih dahulu pada waktu 0,176 detik dengan arus yang terdeteksi 2,273 kA dan disusul rele 8 dan 15 sebagai rele *backup* pada 0,406 detik dengan arus *trip* 1,846 kA dan 0.776 detik pada arus 0.428 kA.

Gambar 4.13 dan 4.14 adalah kurva koordinasi rele ketika terjadi hubung singkat diantara bus 8 dan bus 9 yang telah diberi bus 12 sebagai bus bantu. Untuk kurva koordinasi pada skema 1 ditampilkan pada lampiran. Berikut merupakan rangkuman waktu operasi rele utama dan backup setelah dilakukan simulasi hubung singkat pada skema 1.

Tabel 4.19 Waktu Operasi Rele Utama dan Rele *Backup* Skema 1 Berdasarkan Simulasi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 *Cycle*

Rele		td _{utama} (detik)	td _{backup} (detik)	CTI (detik)
Utama	Backup			
1	6	0.200	0.447	0.247
2	1	0.189	0.388	0.199
3	2	0.207	0.401	0.194
4	3	0.204	0.437	0.233
5	4	0.240	0.497	0.257
6	5	0.109	0.725	0.616
7	12	0.237	0.796	0.559
8	7	0.211	0.432	0.221
9	8	0.176	0.406	0.230
10	9	0.159	0.363	0.204
11	10	0.123	0.420	0.297
12	11	0.186	0.411	0.225
1	13	0.200	0.622	0.422
7	13	0.237	0.622	0.385
11	14	0.123	0.716	0.593
3	14	0.207	0.717	0.510
5	15	0.240	0.771	0.531
9	15	0.176	0.776	0.600

Dari tabel 4.20 waktu operasi rele utama dan *backup* skema 1, waktu operasi rele ini ketika terjadi hubung singkat 3 fasa 0,5 *cycle* pada kabel penghubung antar bus waktu operasi rele utama sudah sesuai syarat yaitu $0,1 \text{ detik} \leq \text{td}_{\text{utama}} < 1 \text{ detik}$ dan CTI antara rele utama dan rele *backup* $0,2 \text{ detik} \leq \text{CTI}$.

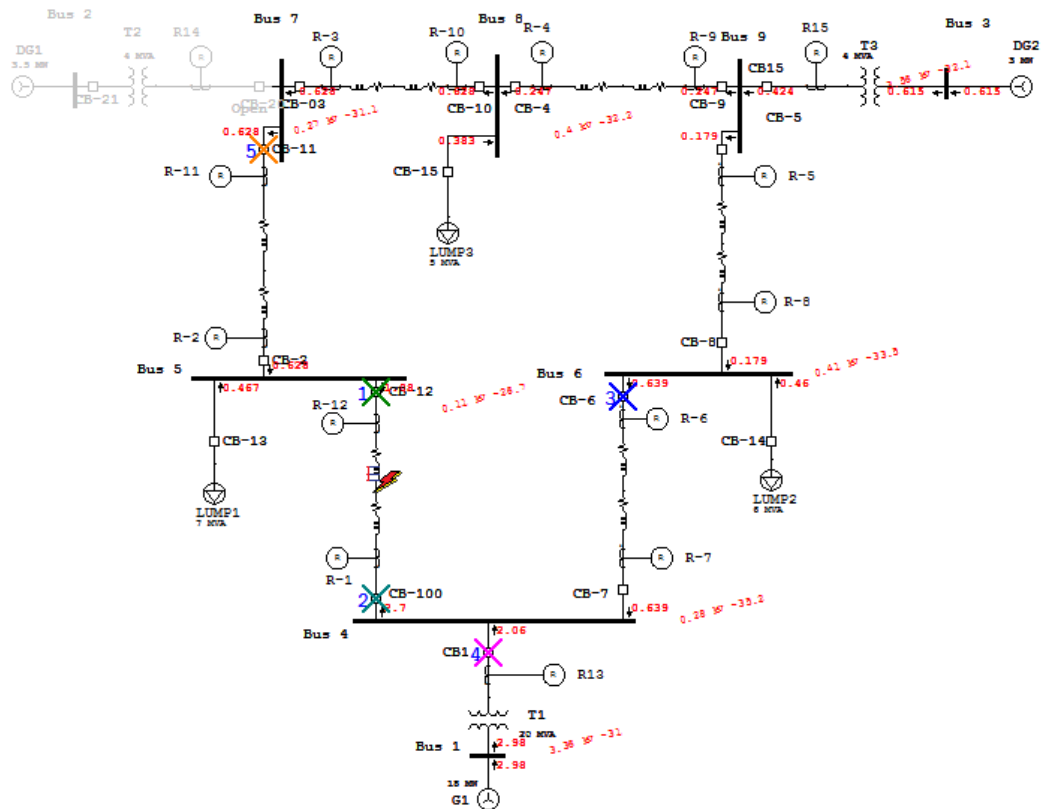
4.2.2 Kondisi Terhubung dengan Generator dan DG2 (Skema 2)

Setelah dilakukan optimalisasi nilai TDS pada skema 2 maka berikutnya dilakukan pelatihan dan pengujian ANN menggunakan teknik pelatihan algoritma BCG. Perbandingan target dan keluaran pelatihan ANN kondisi pembangkitan Generator utama dan DG2 ditunjukkan pada tabel 4.19.

Tabel 4.20 Kondisi Pembangkitan Terhubung Generator dan DG2

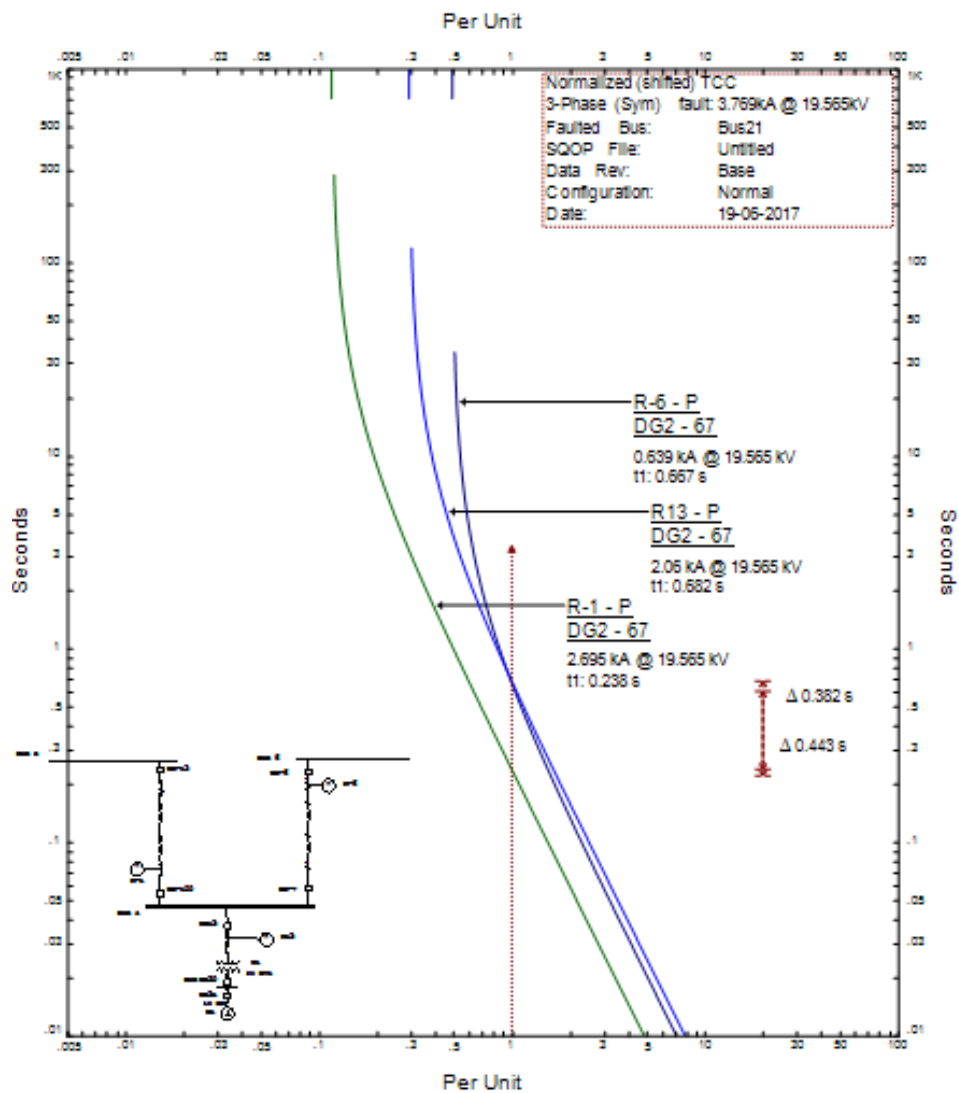
Rele	PSO		ANN	
	<i>TDS</i>	<i>Ipickup</i>	<i>TDS</i>	<i>Ipickup</i>
R1	0.2152	3.1500	0.2086	3.1500
R2	0.1769	3.1500	0.1685	3.1500
R3	0.1396	2.4675	0.1352	2.4675
R4	0.1379	2.4675	0.1305	2.4675
R5	0.0386	3.1500	0.0378	3.1500
R6	0.0262	3.1500	0.0250	3.1500
R7	0.1993	3.1500	0.1970	3.1500
R8	0.1754	3.1500	0.1730	3.1500
R9	0.2088	2.4675	0.2038	2.4675
R10	0.1775	2.4675	0.1726	2.4675
R11	0.0472	3.1500	0.0468	3.1500
R12	0.0223	3.1500	0.0186	3.1500
R13	0.0909	5.0488	0.0908	5.0488
R14	0.0000	0.0000	0.0001	0.0065
R15	0.1002	2.0300	0.0996	1.9956

Pada Tabel 4.19 menunjukkan perbandingan nilai TDS dan *Ipickup* target dan hasil pengujian ANN. Sampai 2 angka dibelakang koma nilai TDS pada rele 1, 2, 12, dan 13 ada perbedaan yang lain mirip. Untuk nilai *Ipickup* hanya rele 15 angka ke 2 dibelakang koma ada perbedaan. Namun perbedaannya sangat kecil dan dalam batas aman. Hal itu dibuktikan berdasarkan dari hasil simulasi koordinasi rele masih terkoordinasi dengan sangat baik yang ditunjukkan oleh simulasi koordinasi rele pada gambar 4.15. Nilai 0 pada TDS dan *Ipickup* rele 14 karena rele 14 merupakan rele pengaman DG 1. Sistem pada skema 2 tidak terhubung oleh DG1. Sehingga rele 14 tidak diaktifkan.



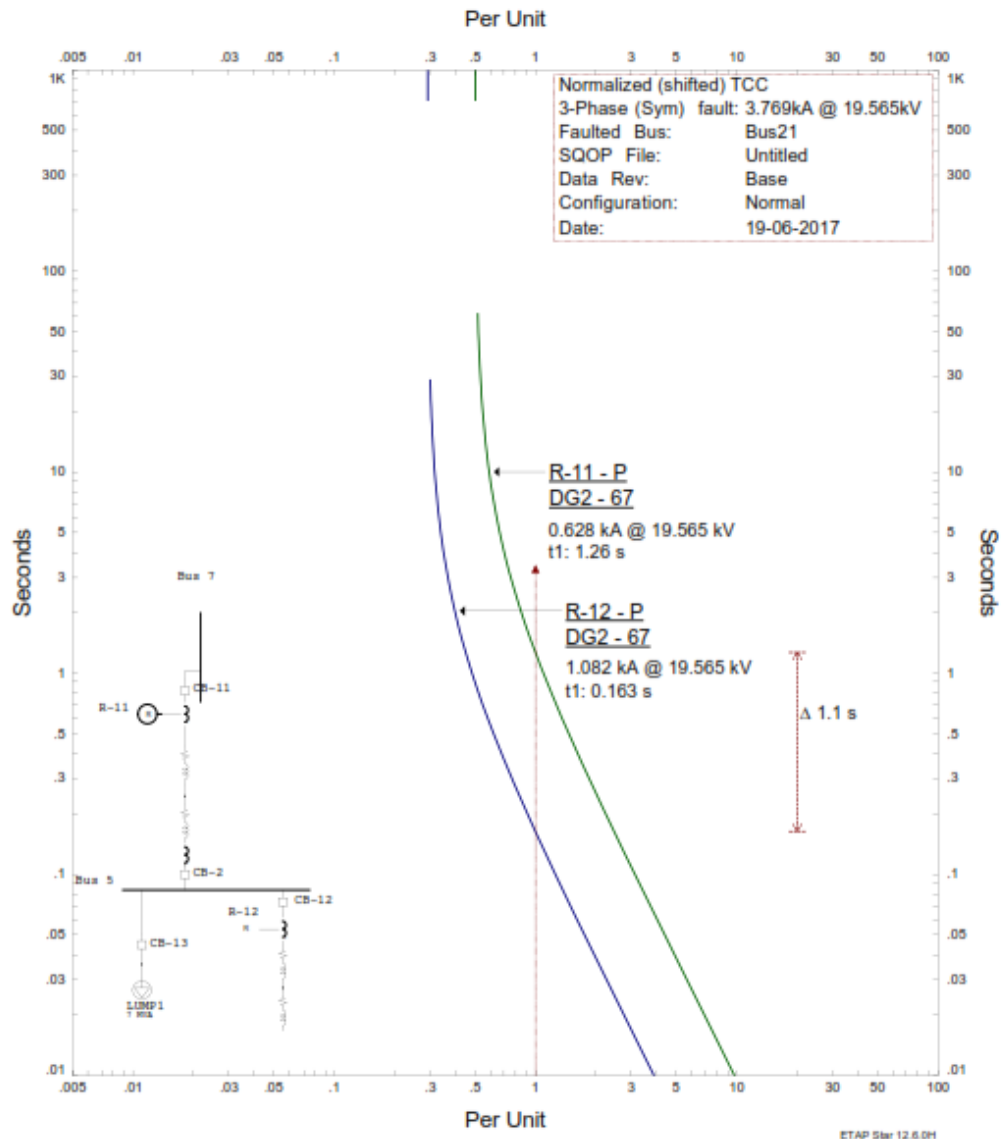
Gambar 4.16 Simulasi Koordinasi Rele Skema 2

Dari simulasi hubung singkat diatara bus 5 dan bus 4. Rele terkoordinasi sangat baik rele bekerja sesuai urutan koodinasinya berikut kurva koordinasi rele skema 2.



Gambar 4.17 Kurva Rele 1, 6 dan 13 Saat Hubung Singkat 3 Fasa 0.5 cycle pada Bus 21

Rele 1 beroperasi terlebih dahulu pada waktu 0,238 detik dengan arus yang terdeteksi 2,695 kA dan disusul rele 6 dan rele 13 sebagai rele *backup* pada 0,667 detik dan 0,682 detik.



Gambar 4.18 Kurva Rele 12 dan 11 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Pasa 0.5 Cycle Pada Bus 21

Gambar 4.16 dan 4.17 adalah kurva koordinasi rele ketika terajadi hubung singkat ditengah saluran antara bus 4 dan bus 5 yang telah diberi bus 21 sebagai bus bantu. Rele 12 beroperasi terlebih dahulu pada waktu 0,163 detik dengan arus yang terdeteksi 1.082 kA dan disusul rele 11 sebagai rele *backup* pada 1,26 detik dengan arus hubung singkat 0,628 kA. Selengkapnya untuk kurva koordinasi pada skema 2 ditampilkan pada lampiran. Berikut merupakan rangkuman waktu operasi rele utama dan *backup* setelah dilakukan simulasi hubung singkat pada skema 2.

Tabel 4.21 Waktu Operasi Rele Utama dan Rele *Backup* Skema 2 Berdasarkan Simulasi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 *Cycle*

Rele		td _{utama} (detik)	td _{backup} (detik)	CTI (detik)
Utama	Backup			
1	6	0.238	0.667	0.429
2	1	0.240	0.439	0.199
3	2	0.223	0.465	0.242
4	3	0.284	0.521	0.237
5	4	0.169	0.778	0.609
6	5	0.140	0.594	0.454
7	12	0.252	1.339	1.087
8	7	0.256	0.456	0.200
9	8	0.221	0.479	0.258
10	9	0.233	0.433	0.200
11	10	0.241	0.544	0.303
12	11	0.163	1.264	1.101
1	13	0.238	0.682	0.444
7	13	0.252	0.681	0.429
5	15	0.169	0.700	0.531
9	15	0.221	0.704	0.483

Dari tabel 4.20 waktu operasi rele utama dan *backup* skema 2, waktu operasi rele ini ketika terjadi hubung singkat 3 fasa 0,5 *Cycle* pada kabel penghubung antar bus waktu operasi rele utama sudah sesuai syarat yaitu $0,1 \text{ detik} \leq t_{d_{utama}} < 1 \text{ detik}$ dan CTI antara rele utama dan rele *backup* $0,2 \text{ detik} \leq \text{CTI}$.

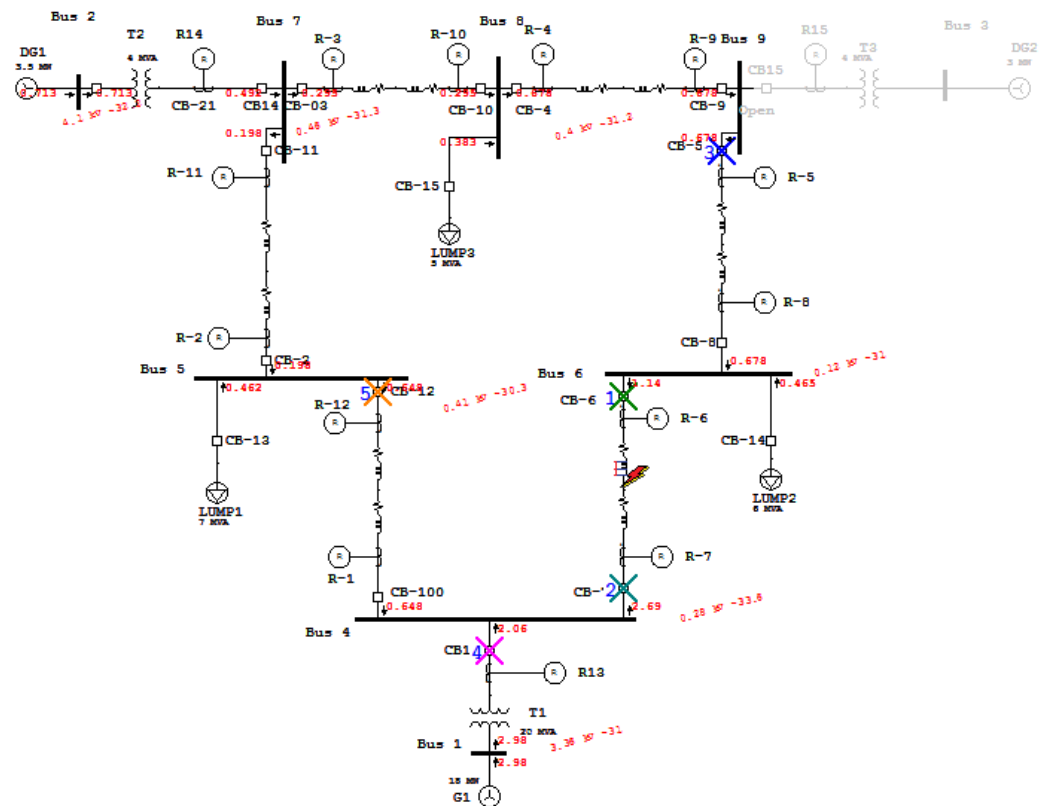
4.2.3 Kondisi Terhubung dengan Generator dan DG1(Skema 3)

Setelah dilakukan optimalisasi nilai TDS pada skema 3 maka berikutnya dilakukan pelatihan dan pengujian ANN menggunakan teknik pelatihan algoritma BCG. Perbandingan target dan keluaran pelatihan ANN kondisi pembangkitan *generator* utama dan DG1 ditunjukkan pada tabel 4.21.

Tabel 4.22 Kondisi Pembangkitan Terhubung Generator dan DG1

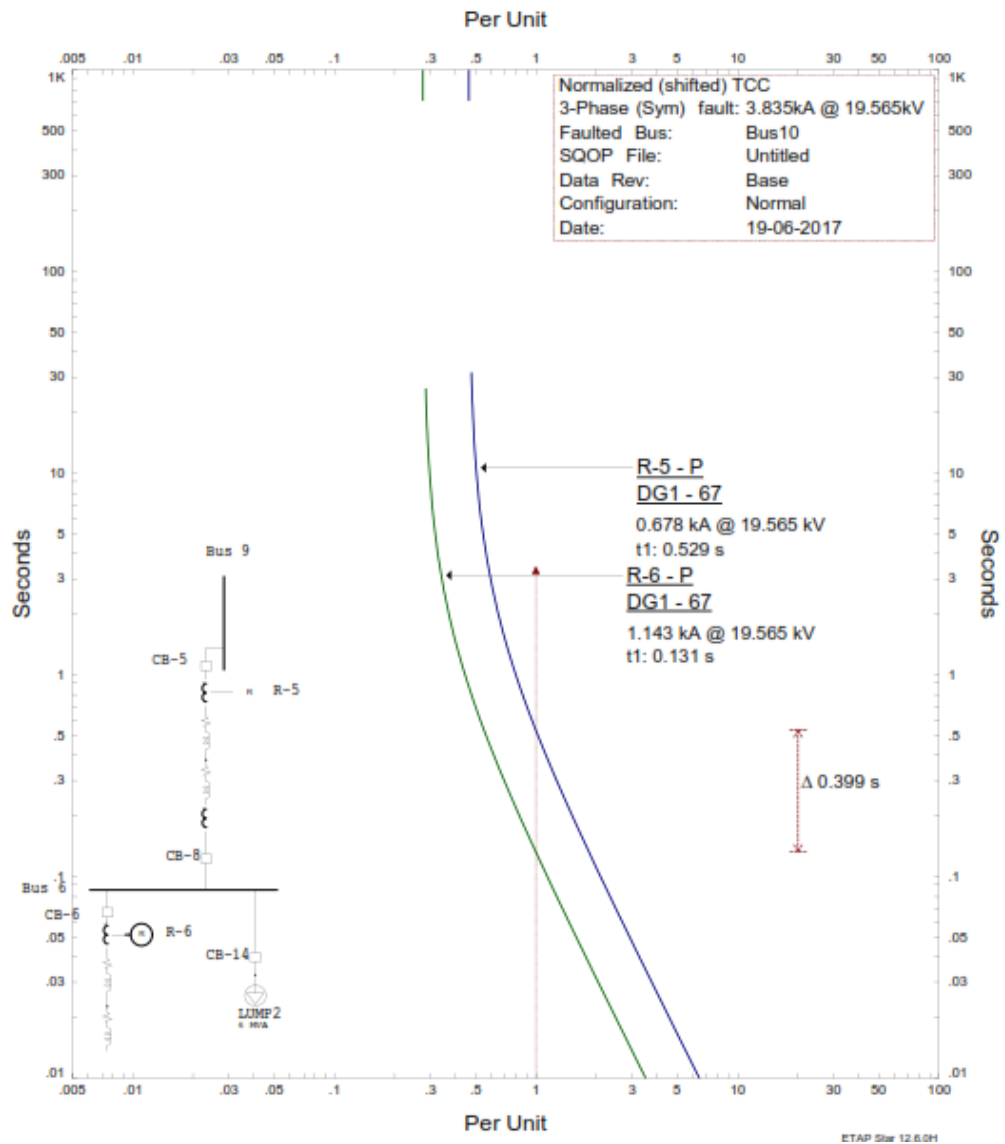
Rele	PSO		ANN	
	<i>TDS</i>	<i>Ipickup</i>	<i>TDS</i>	<i>Ipickup</i>
R1	0.2049	3.1500	0.1998	3.1500
R2	0.1736	3.1500	0.1695	3.1500
R3	0.2240	2.4675	0.2230	2.4675
R4	0.1303	2.4675	0.1306	2.4675
R5	0.0242	3.1500	0.0213	3.1500
R6	0.0127	3.1500	0.0118	3.1500
R7	0.2263	3.1500	0.2246	3.1500
R8	0.1857	3.1500	0.1838	3.1500
R9	0.1542	2.4675	0.1505	2.4675
R10	0.1413	2.4675	0.1375	2.4675
R11	0.0335	3.1500	0.0332	3.1500
R12	0.0553	3.1500	0.0525	3.1500
R13	0.1106	5.0488	0.1095	5.0488
R14	0.1212	2.0300	0.1257	2.0350
R15	0.0000	0.0000	0.0004	0.0001

Pada Tabel 4.21 menunjukkan perbandingan nilai *TDS* dan *Ipickup* target dan hasil pengujian ANN. Sampai 3 angka dibelakang koma nilai *TDS* semuanya mirip. Untuk nilai *Ipickup* Rele 2, 10, dan rele 13, angka ke 2 dibelakang koma ada perbedaan. Namun perbedaannya sangat kecil dan dalam batas aman. Hal itu dibuktikan berdasarkan dari hasil simulasi koordinasi rele masih terkoordinasi dengan sangat baik yang ditunjukkan oleh simulasi koordinasi rele pada gambar 4.18. Nilai 0 pada *TDS* dan *Ipickup* rele 15 dikarenakan rele 15 merupakan rele pengaman DG 2. Sistem pada skema 3 tidak terhubung oleh DG2. Sehingga rele 15 tidak diaktifkan.



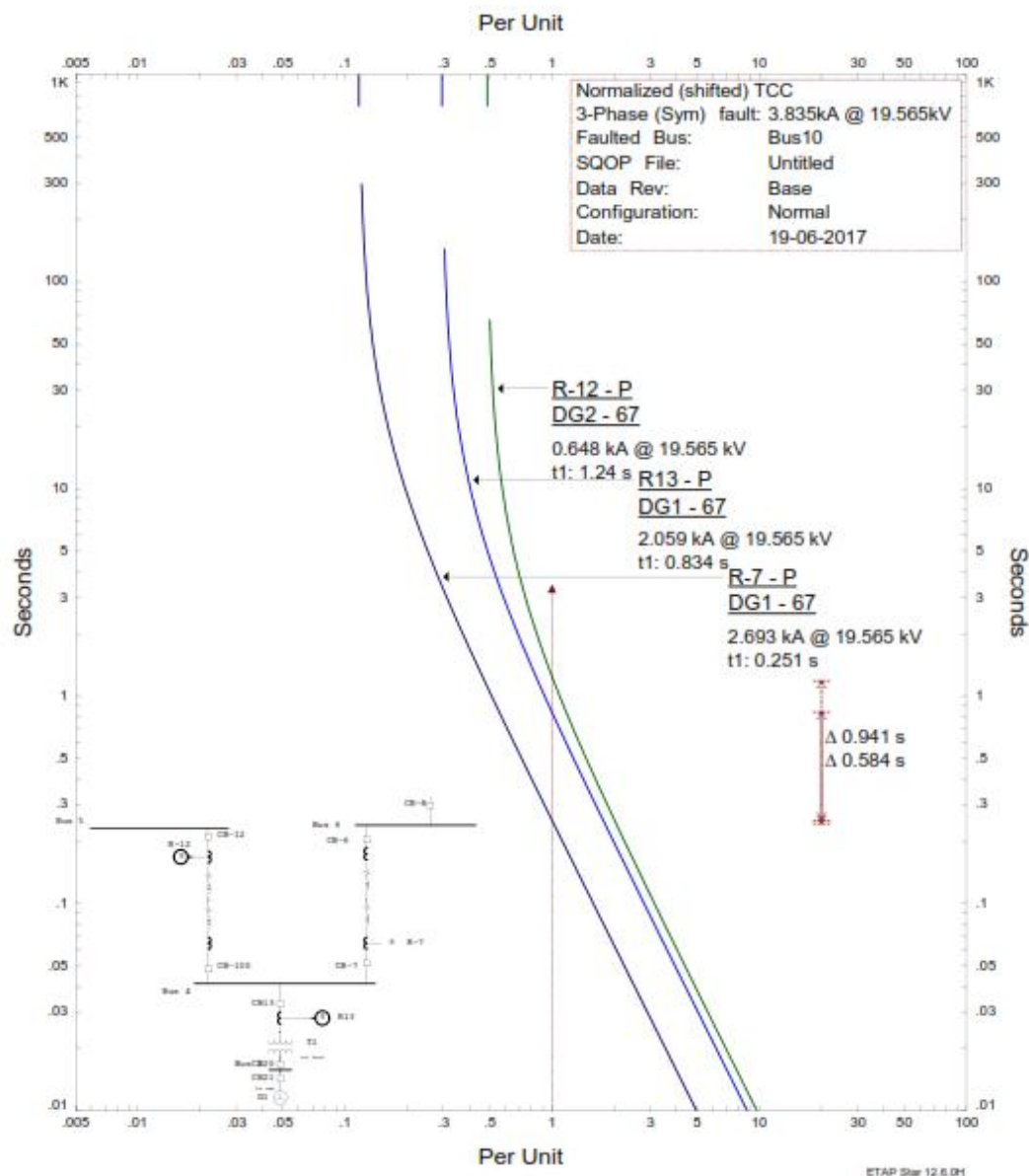
Gambar 4.19 Simulasi Koordinasi Rele Skema 3

Dari simulasi hubung singkat ditengah saluran yang menghubungkan bus 6 dan bus 4. Rele terkoordinasi sangat baik rele bekerja sesuai urutan koodinasinya berikut kurva koordinasi rele skema 3 ketika terjadi hubung singkat 3 fasa 0.5 cycle pada bus bantu 10.



Gambar 4.20 Kurva Rele 6 dan 5 Saat Hubung Singkat 3 Fasa 0.5 cycle pada Bus 10

Rele 6 beroperasi terlebih dahulu pada waktu 0,131 detik dengan arus yang terdeteksi 1,143 kA dan disusul rele 5 sebagai rele *backup* pada 0,529 detik.



Gambar 4.21 Kurva Rele 7, 12 dan 13 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0.5 Cycle pada Bus 10

Gambar 4.17 dan 4.18 adalah kurva koordinasi rele ketika terjadi hubung singkat diantara bus 4 dan bus 6 yang telah diberi bus 10 sebagai bus bantu. Rele 7 beroperasi terlebih dahulu pada waktu 0,251 detik dengan arus yang hubung singkat 2,693 kA dan disusul rele 12 dan rele 13 sebagai rele *backup* pada 0,739 detik dengan arus hubung singkat 1.24 kA dan 0,834 detik dengan arus hubung singkat 2.059 kA. Selengkapnya untuk kurva koordinasi pada skema 3 ditampilkan pada

lampiran. Berikut merupakan rangkuman waktu operasi rele utama dan *backup* setelah dilakukan simulasi hubung singkat pada skema 3.

Tabel 4.23 Waktu Operasi Rele Utama dan Rele *Backup* Skema 3 Berdasarkan Simulasi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 *Cycle*

Rele		td _{utama} (detik)	td _{backup} (detik)	CTI (detik)
Utama	Backup			
1	6	0.242	0.912	0.670
2	1	0.263	0.467	0.204
3	2	0.246	0.543	0.297
4	3	0.180	0.495	0.315
5	4	0.123	0.398	0.275
6	5	0.131	0.529	0.398
7	12	0.251	1.240	0.989
8	7	0.239	0.439	0.200
9	8	0.215	0.429	0.214
10	9	0.253	0.480	0.227
11	10	0.127	0.738	0.611
12	11	0.263	0.476	0.213
1	13	0.242	0.833	0.591
7	13	0.251	0.834	0.583
11	14	0.127	0.612	0.485
3	14	0.246	0.614	0.368

Dari tabel 4.22 waktu operasi rele utama dan *backup* skema 3, waktu operasi rele ini ketika terjadi hubung singkat 3 fasa 0,5 *cycle* pada kabel penghubung antar bus waktu operasi rele utama sudah sesuai syarat yaitu $0,1 \text{ detik} \leq \text{td}_{\text{utama}} < 1 \text{ detik}$ dan CTI antara rele utama dan rele *backup* $0,2 \text{ detik} \leq \text{CTI}$.

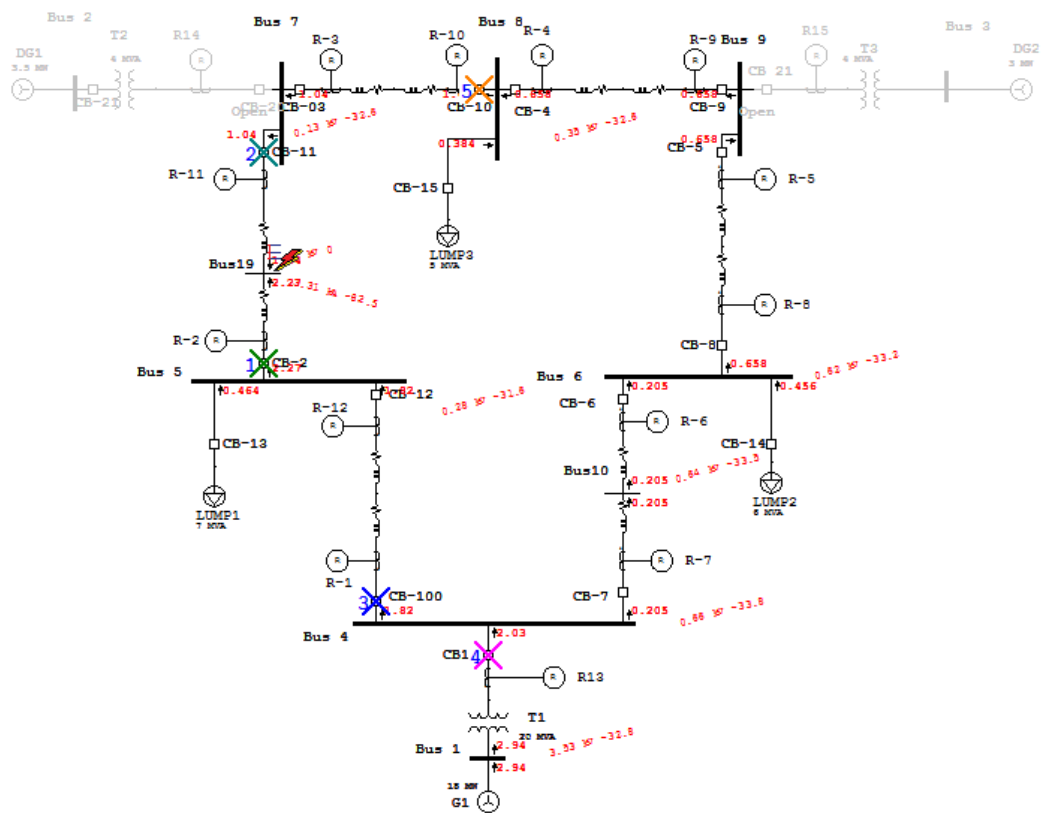
4.2.4 Kondisi Terhubung dengan *Generator* (Skema 4)

Setelah dilakukan optimalisasi nilai TDS pada skema 4 maka berikutnya dilakukan pelatihan dan pengujian ANN menggunakan teknik pelatihan algoritma BCG. Perbandingan target dan keluaran pelatihan ANN kondisi pembangkitan *generator* utama ditunjukkan pada tabel 4.23.

Tabel 4.24 Kondisi Pembangkitan Terhubung Generator

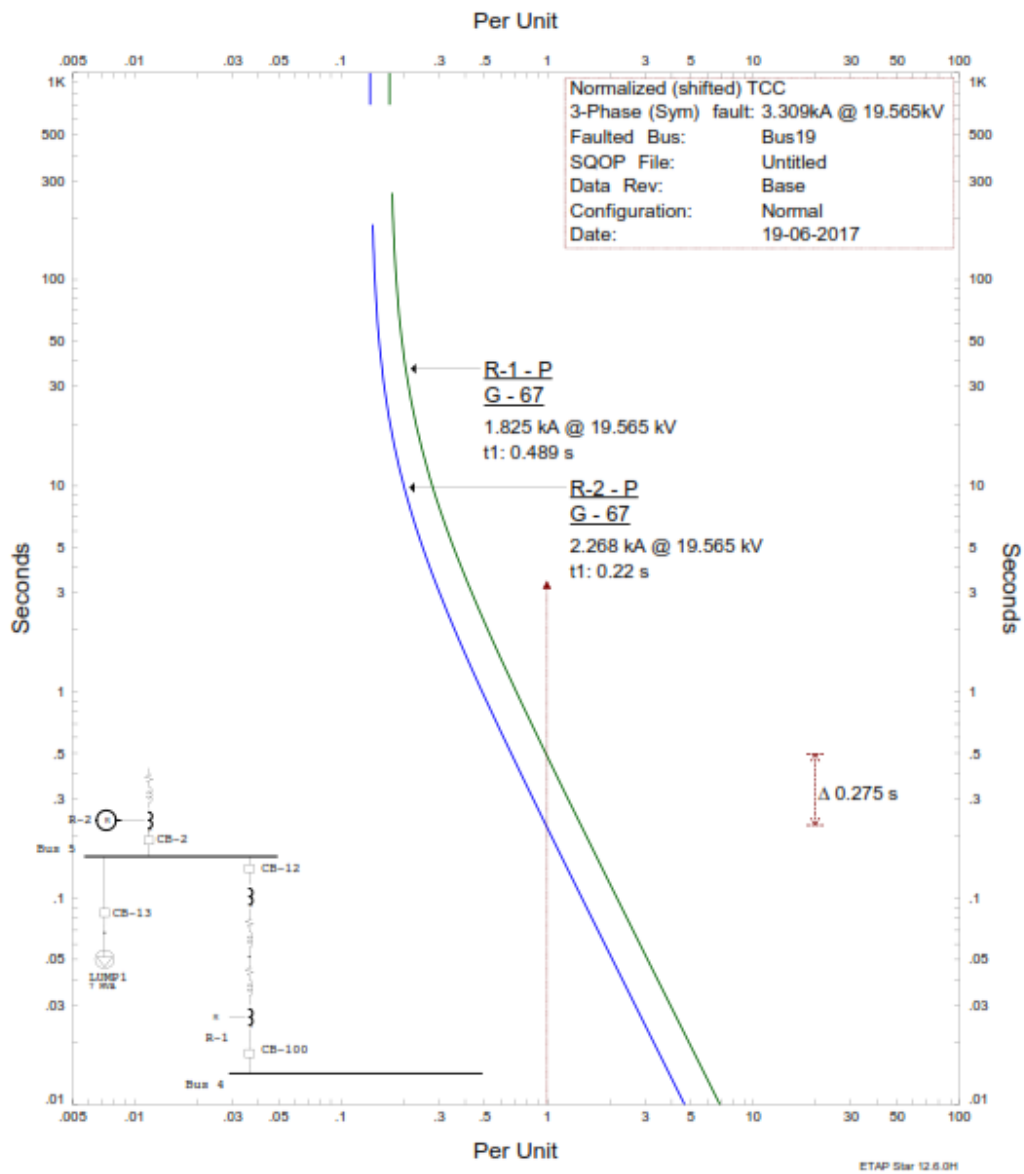
Rele	PSO		ANN	
	<i>TDS</i>	<i>Ipickup</i>	<i>TDS</i>	<i>Ipickup</i>
R1	0.1985	3.1500	0.2051	3.1500
R2	0.1403	3.1500	0.1415	3.1500
R3	0.1063	2.4675	0.1006	2.4675
R4	0.0970	2.4675	0.0943	2.4675
R5	0.0233	3.1500	0.0242	3.1500
R6	0.0108	3.1500	0.0119	3.1500
R7	0.2034	3.1500	0.2057	3.1500
R8	0.1803	3.1500	0.1827	3.1500
R9	0.1699	2.4675	0.1748	2.4675
R10	0.1742	2.4675	0.1790	2.4675
R11	0.0372	3.1500	0.0376	3.1500
R12	0.0171	3.1500	0.0168	3.1500
R13	0.0998	5.0488	0.1039	5.0488
R14	0.0000	0.0000	0.0059	0.0065
R15	0.0000	0.0000	0.0045	0.0004

Pada Tabel 4.23 menunjukkan perbandingan nilai TDS dan *Ipickup* target dan hasil pengujian ANN pada skema 4. Sampai 2 angka dibelakang koma nilai TDS semuanya mirip hanya rele 1, 9, dan 13. Untuk nilai *Ipickup* sampai angka ke 2 dibelakang koma juga tidak ada perbedaan. Berdasarkan dari hasil simulasi koordinasi rele terkoordinasi dengan sangat baik dan ditunjukkan oleh gambar 4.21. Nilai 0 pada TDS dan *Ipickup* rele 14 dan 15 dikarenakan rele 14 dan 15 merupakan rele pengaman DG1 dan DG2. Sistem pada skema 4 tidak terhubung oleh DG1 maupun DG2. Sehingga rele 14 dan 15 tidak diaktifkan.



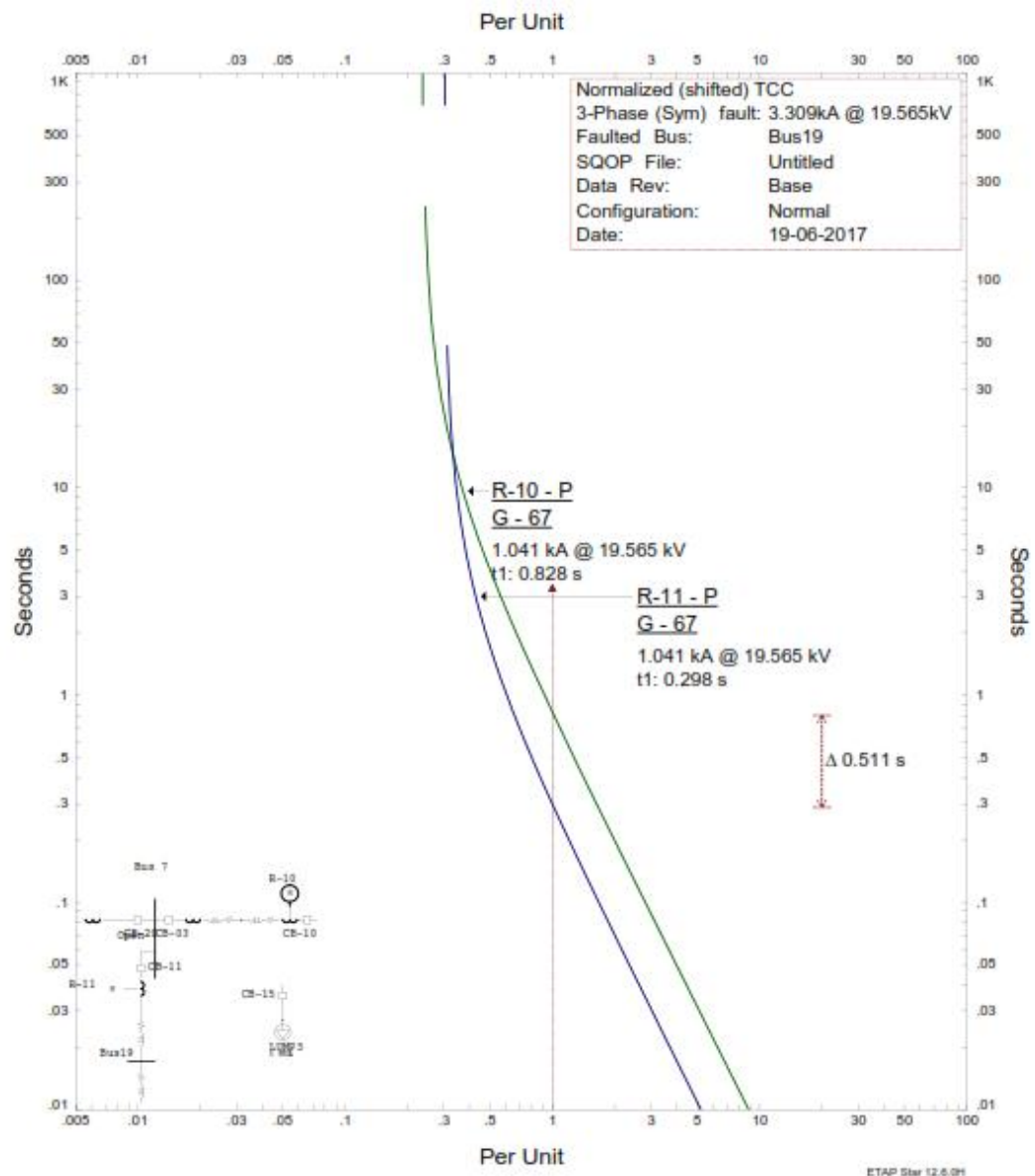
Gambar 4.22 Simulasi Koordinasi Rele Skema 4

Dari simulasi hubung singkat ditengah saluran antara bus 5 dan bus 7. Rele terkoordinasi sangat baik rele bekerja sesuai urutan koodinasinya berikut kurva koordinasi rele skema 4.



Gambar 4.23 Kurva Rele 2 dan 1 Saat Hubung Singkat 3 Fasa 0.5 Cycle Pada Bus 19

Rele 2 beroperasi terlebih dahulu pada waktu 0,22 detik dengan arus yang terdeteksi 2,268 kA dan disusul rele 1 sebagai rele *backup* pada 0,489 detik dan 1.825 kA.



Gambar 4.24 Kurva Rele 11 dan 10 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0.5 Cycle Pada Bus 19

Gambar 4.22 dan 4.23 adalah kurva koordinasi rele ketika terajadi hubung singkat diatara bus 5 dan bus 7 yang telah diberi bus 19 sebagai bus bantu. Rele 10 beroperasi terlebih dahulu pada waktu 0,298 detik dengan arus yang terdeteksi 1,041 kA dan disusul rele 10 sebagai rele *backup* pada 0,828 detik dengan arus hubung singkat 1.041 kA. Tabel 4.24 merupakan rangkuman waktu operasi rele utama dan *backup* setelah dilakukan simulasi hubung singkat pada skema 4.

Tabel 4.25 Waktu Operasi Rele Utama dan Rele *Backup* Skema 4 Berdasarkan Simulasi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 *Cycle*

Rele		td _{utama} (detik)	td _{backup} (detik)	CTI (detik)
Utama	Backup			
1	6	0.268	1.657	1.389
2	1	0.220	0.489	0.269
3	2	0.190	0.415	0.225
4	3	0.209	0.419	0.210
5	4	0.204	0.507	0.303
6	5	0.114	1.547	1.433
7	12	0.259	2.869	2.610
8	7	0.271	0.476	0.205
9	8	0.270	0.472	0.202
10	9	0.330	0.565	0.235
11	10	0.298	0.828	0.530
12	11	0.183	2.849	2.666
1	13	0.268	0.756	0.488
7	13	0.269	0.756	0.487

Dari tabel 4.24 waktu operasi rele utama dan *backup* skema 3, waktu operasi rele ini ketika terjadi hubung singkat 3 fasa 0,5 *cycle* pada kabel penghubung antar bus waktu operasi rele utama sudah sesuai syarat yaitu $0,1 \text{ detik} \leq \text{td}_{\text{utama}} < 1 \text{ detik}$ dan CTI antara rele utama dan rele *backup* $0,2 \text{ detik} \leq \text{CTI}$.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa koordinasi proteksi adaptif rele DOCR pada sitem distribusi yang terhubung dengan DG menggunakan PSO-ANN, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pembangkit tersebar (DG) yang terhubung pada sistem tenaga listrik menyebabkan penambahan nilai arus dan arah arus gangguan sehingga *setting* rele harus menyesuaikan kombinasi pembangkitannya.
2. Pelatihan dan pengujian algoritma *neural network* BCG menggunakan data kombinasi pembangkitan sebagai data masukan dapat menentukan nilai *setting* TDS dan *Ipickup* yang tepat untuk rele pada iterasi ke 44.
3. Menggunakan 4 data pembelajaran dan pelatihan dapat Mean Squared Error (MSE) = 0.063529. Waktu operasi rele utama dibawah 1 detik dan nilai CTI >0,2 detik antara rele utama dan rele *backup*.
4. Data yang harus dimasukan pada *master control* lebih kecil menggunakan ANN sebanyak 96 data dibandingkan menggunakan *look up table* yaitu 120 data.
5. *Master control* harus memiliki prosesor yang cukup cepat karena harus melakukan proses perhitungan untuk mendapatkan TDS dan *Ipickup*.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan saat ini, maka ada beberapa masukan untuk penelitian selanjutnya:

1. Untuk studi selanjutnya dapat dilakukan pengembangan dengan sistem distribusi industri yang nyata sehingga efetifitas metode ANN lebih terlihat dibandingkan metode *lock up table*.
2. Optimalisasi bisa dilakukan tidak hanya pada rele *inverse* (51) saja tapi juga pada rele *instantaneous* (50).

3. Diharapkan algoritma *neural network* BCG diterapkan pada sistem *multi loop (mesh)*.
4. Penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan algoritma *neural network* dilatih menggunakan algoritma optimasi PSO, GA, atau *Firefly*.
5. Untuk studi selanjutnya dapat dilakukan pengembangan dengan pembuatan *master* rele proteksi alat untuk mengimplementasikan *artificial intelligence* sehingga bisa melakukan sistem *online setting* disetiap perubahan kombinasi pembangkitan.
6. Diharapkan pada penelitian berikutnya memperhitungkan arus kontribusi gangguan yang dideteksi oleh rele CCW setelah terjadi pemutusan rele pertama pada rele CW dan begitu juga sebaliknya.
7. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan untuk menetapkan Input dari pelatihan ANN tidak menggunakan Arus hubung singkat dan Arus operasional apabila setting rele ditetapkan disetiap kondisi Pembangkitan saja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Nimpitiwan, G. T. Heydt, R. Ayyanar, dan S. Suryanarayanan, "Fault Current Contribution From Synchronous Machine and Inverter Based Distributed Generators," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 22, no. 1, hal. 634–641, Jan 2007.
- [2] H. M. Sharaf, H. H. Zeineldin, D. K. Ibrahim, dan E. E. D. A. E. Zahab, "Protection coordination of directional overcurrent relays considering fault current direction," in *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, Europe*, 2014, hal. 1–5.
- [3] A. K. Sahoo, "Protection of microgrid through coordinated directional overcurrent relays," in *2014 IEEE Global Humanitarian Technology Conference - South Asia Satellite (GHTC-SAS)*, 2014, hal. 129–134.
- [4] Zeineldin. H, Hebatallah. M. s, dan Doaa K. Ibrahim, "Protection Coordination for Meshed Distribution Systems With DG Using Dual Setting Directional Over-Current Relays," *IEEE Trans. On*, vol. 6, no. 1, hal. 115–123, Jan 2015.
- [5] A. Alipour dan M. Pacis, "Optimal coordination of directional overcurrent relays (DOCR) in a ring distribution network with distributed generation (DG) using genetic algorithm," in *2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, 2016, hal. 3109–3112.
- [6] M. Pujiantara *et al.*, "Optimization technique based adaptive overcurrent protection in radial system with DG using genetic algorithm," in *2016 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, 2016, hal. 83–88.
- [7] H. Lin, J. M. Guerrero, C. Jia, Z. Tan, J. C. Vasquez, dan C. Liu, "Adaptive overcurrent protection for microgrids in extensive distribution systems," in *IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2016, hal. 4042–4047.
- [8] D. Irawan, A. Tjahjono, M. Pujiantara, dan P. M. Hery, "Adaptive overcurrent relays coordination based on multiple sequence alignment algorithm (MSA)," in *2016 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, 2016, hal. 101–106.
- [9] D. S. Kumar, B. M. Radhakrishnan, D. Srinivasan, dan T. Reindl, "An adaptive fuzzy based relay for protection of distribution networks," in *2015 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, 2015, hal. 1–6.
- [10] Anang Tjahjono dan Dimas Okky.A, "Digital Overcurrent Relay with Conventional Curve Modeling Using Levenberg-Marquardt," in *IEEE trans*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.
- [11] Lazar, Irwin., *Electrical System Analysis and Design for Industrial Plants*. McGraw: Inc, 1980.
- [12] Anderson, P.M, *Power System Protection*. Canada: Jhon Wiley & Sons, Inc, 1998.

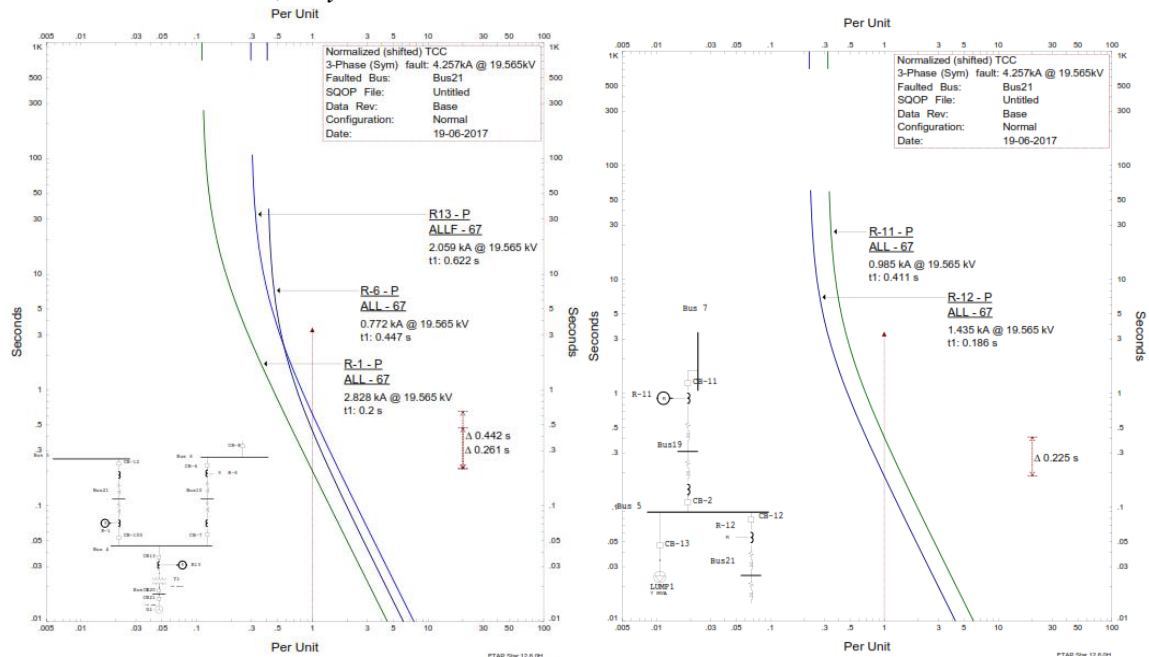
- [13] “IEEE SA - 242-2001 - IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems (IEEE Buff Book).” .
- [14] J. D. Pico, D. Celeita, dan G. Ramos, “Protection Coordination Analysis Under a Real-Time Architecture for Industrial Distribution Systems Based on the Std IEEE 242-2001,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 52, no. 4, hal. 2826–2833, Jul 2016.
- [15] M. Clerc, *Particle Swarm Optimization*. John Wiley & Sons, 2010.
- [16] Zahra Moravej, Mostafa Jazaeri, dan Mehdi Gholamzadeh, “Optimal coordination of distance and over-current relays in series compensated systems based on MAPSO,” *ScienceDirect*, hal. 140–151, 2012.
- [17] Hery. P.M dan Kurniawan .A, *Supervised Neural Networks*. Surabaya: Graha Ilmu, 2006.
- [18] Dayhoff, judith E, *Neural Network Architectures*. USA: Van Nostrand Reinhold, 1990.

LAMPIRAN

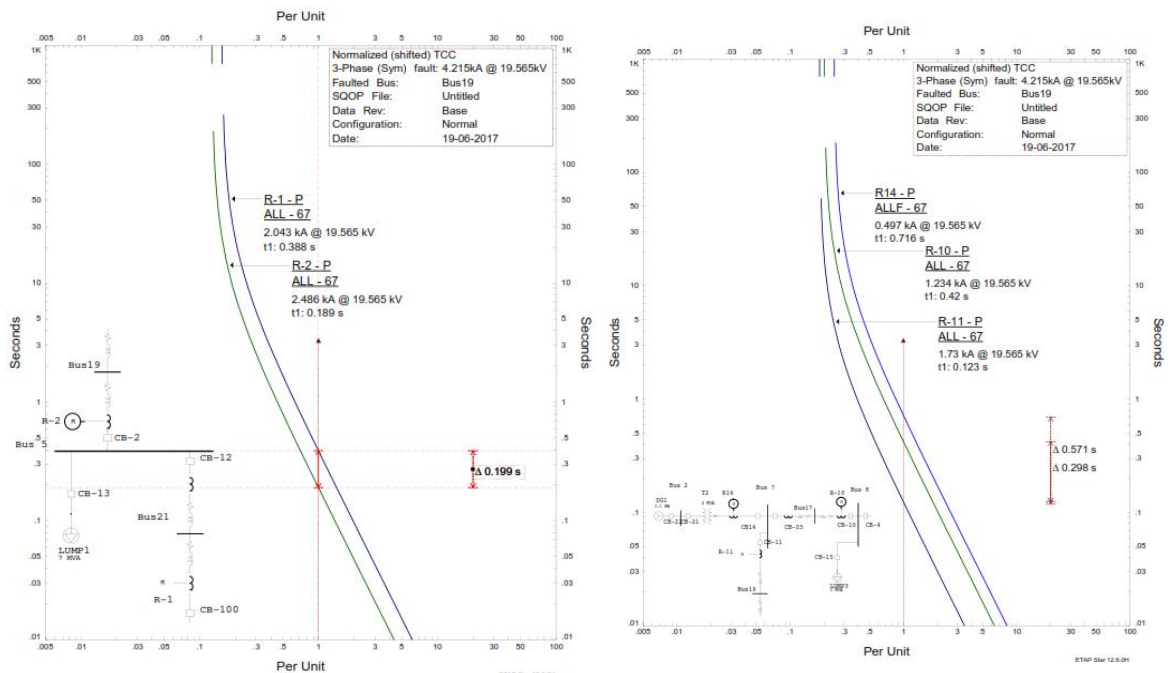
1. Kurva Koordinasi Rele

a. Skema 1

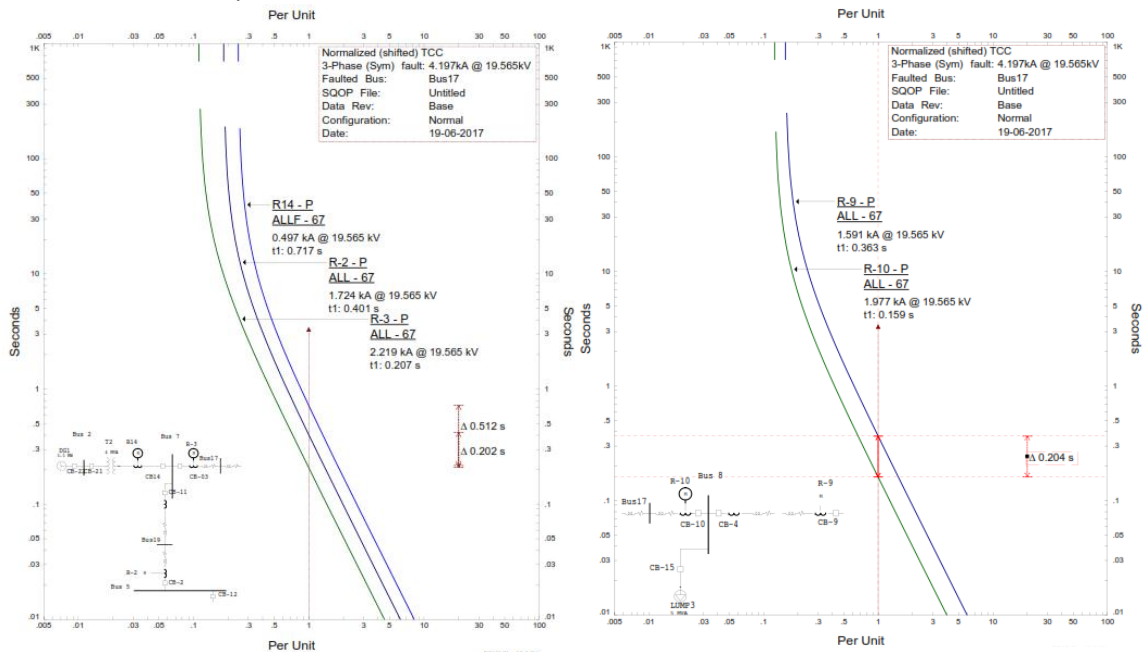
- Kurva Rele 11, 12, 1, 13, dan 6 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 4 dan Bus 5.



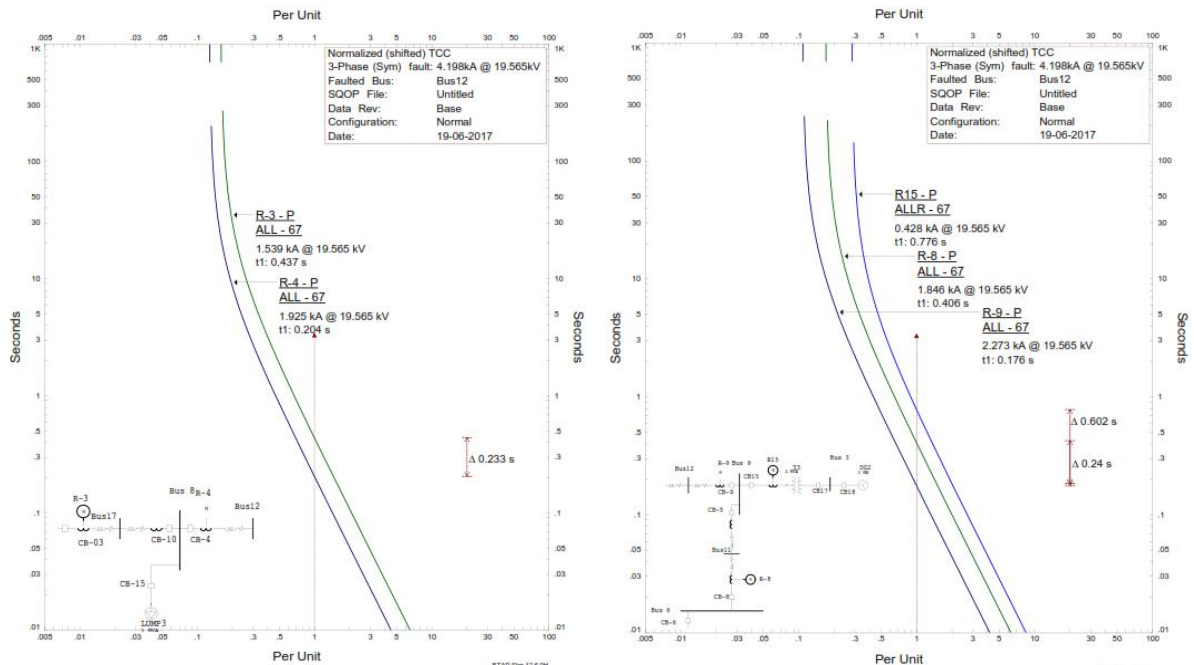
- Kurva Rele 1, 2, 11, 14, dan 10 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 5 dan Bus 7.



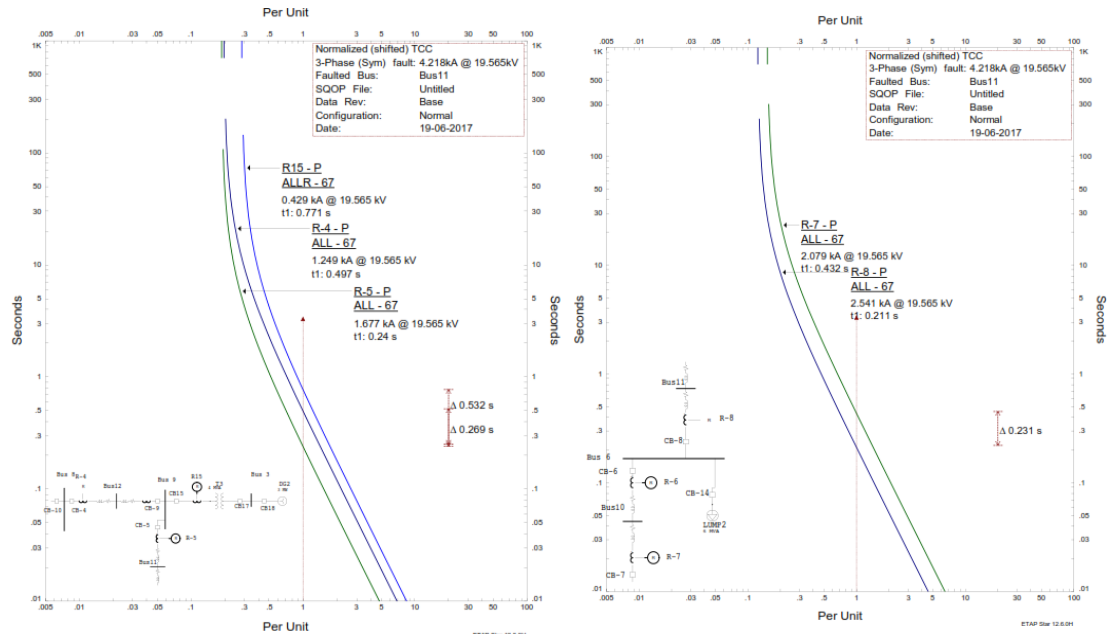
- Kurva Rele 3, 2, 14, 10, dan 9 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 7 dan Bus 8.



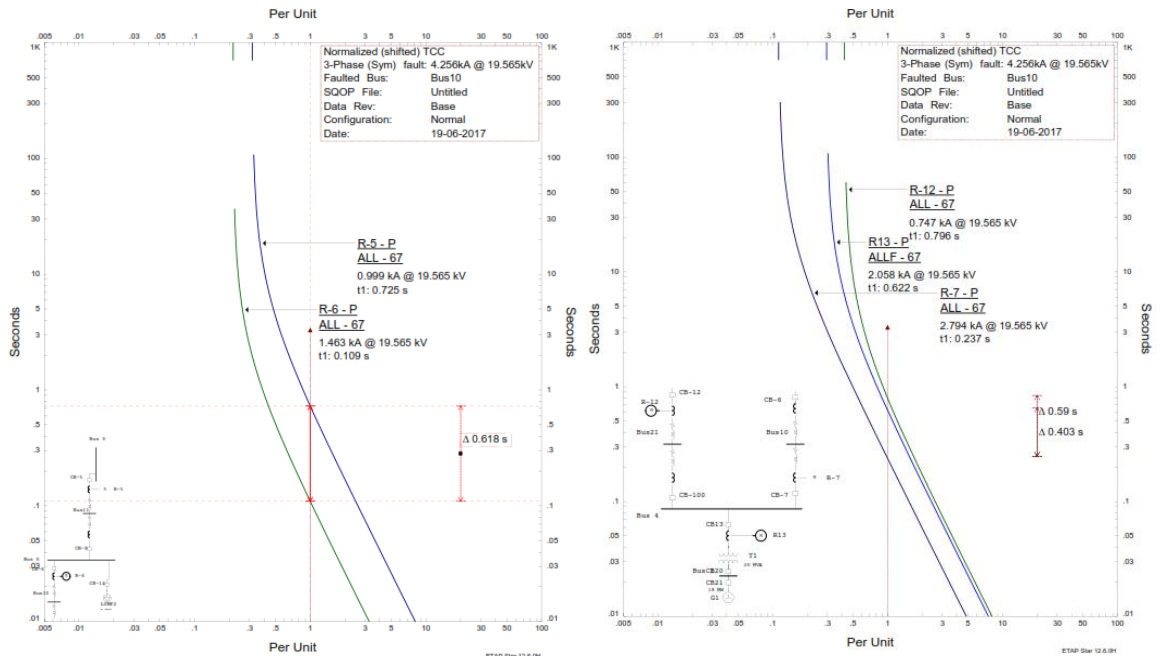
- Kurva Rele 4, 3, 9, 8, dan 15 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 8 dan Bus 9.



- Kurva Rele 5, 4, 15, 8, dan 7 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 6 dan Bus 9.

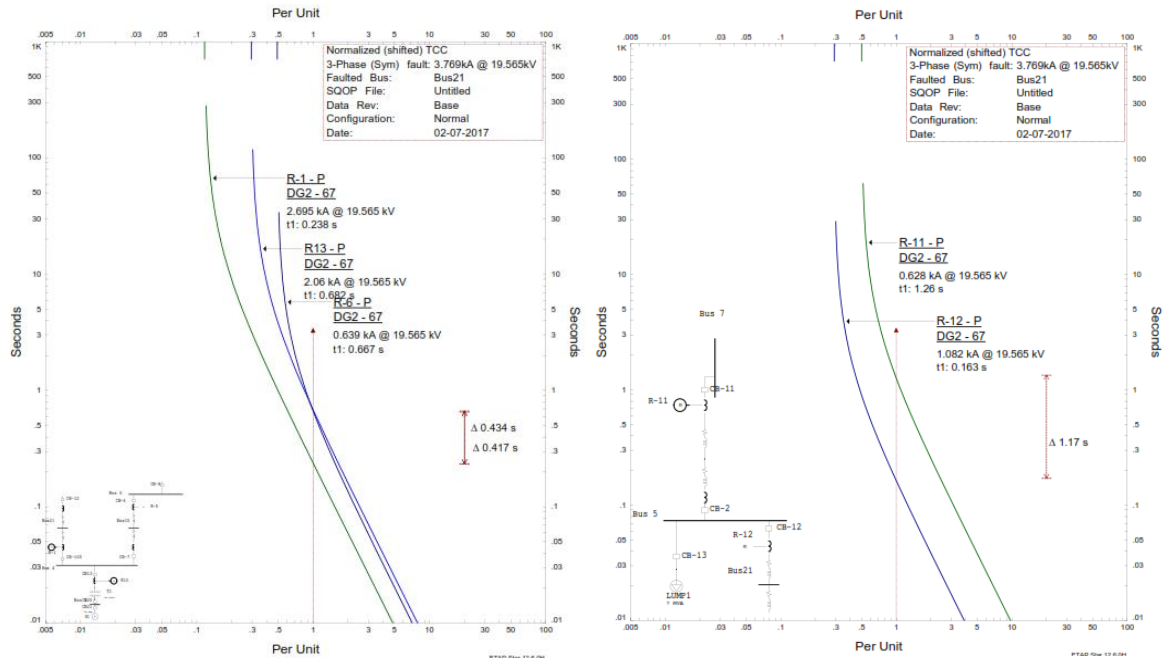


- Kurva Rele 6, 5, 7, 12 dan 13 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 4 dan Bus 6.

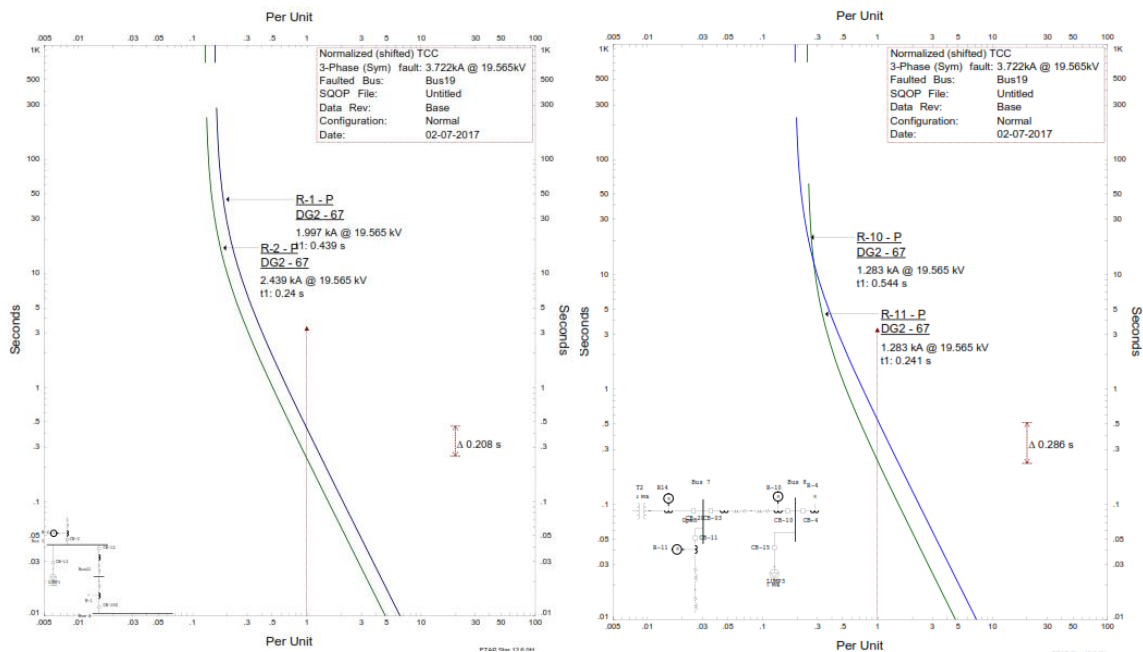


b. Skema 2

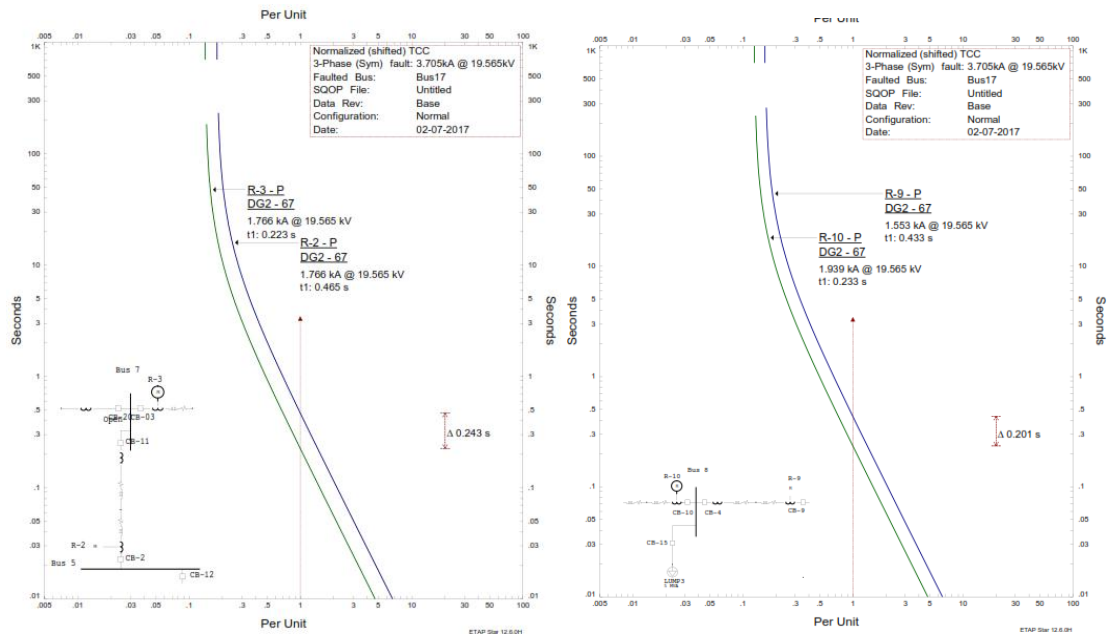
- Kurva Rele 11, 12, 1, 13 ,dan 6 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 4 dan Bus 5.



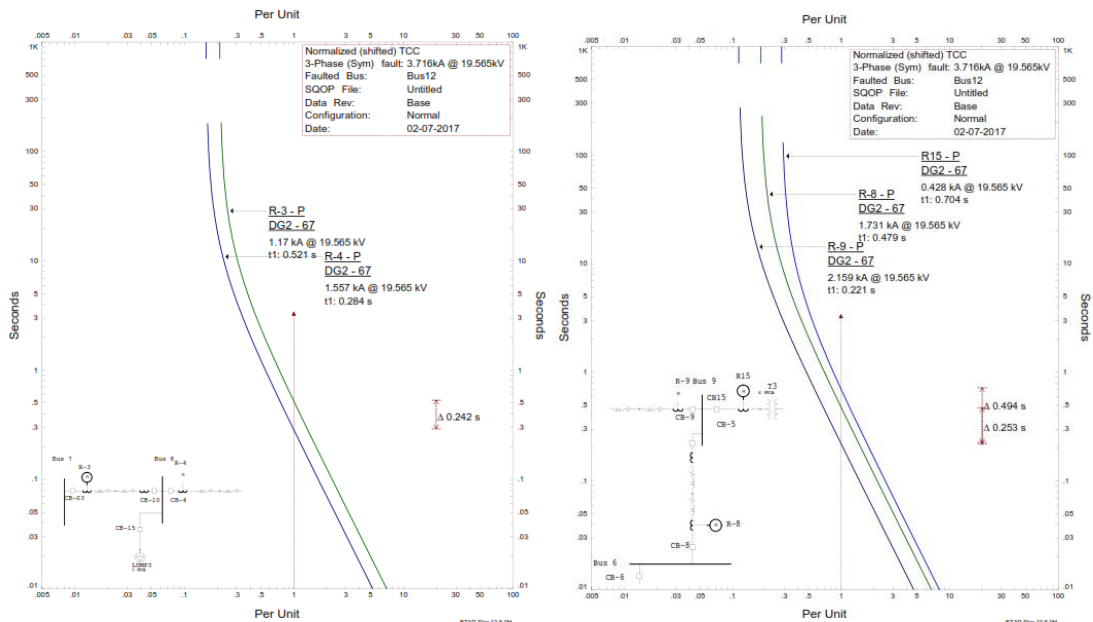
- Kurva Rele 1, 2, 11, dan 10 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 5 dan Bus 7.



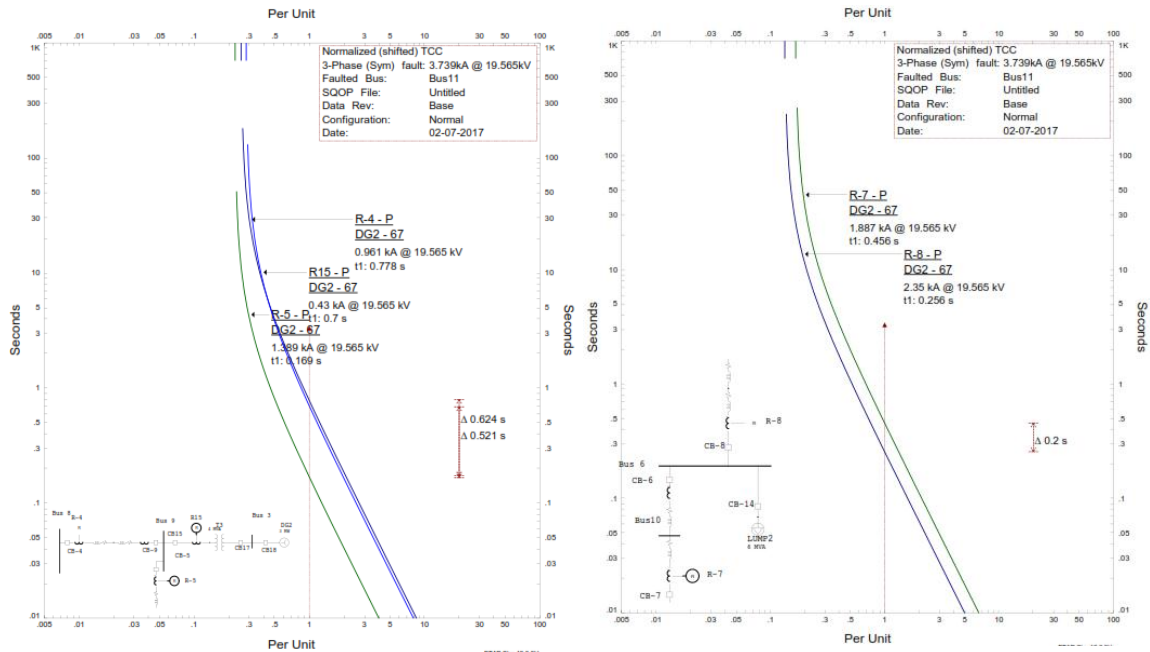
- Kurva Rele 3, 2, 10, dan 9 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 7 dan Bus 8.



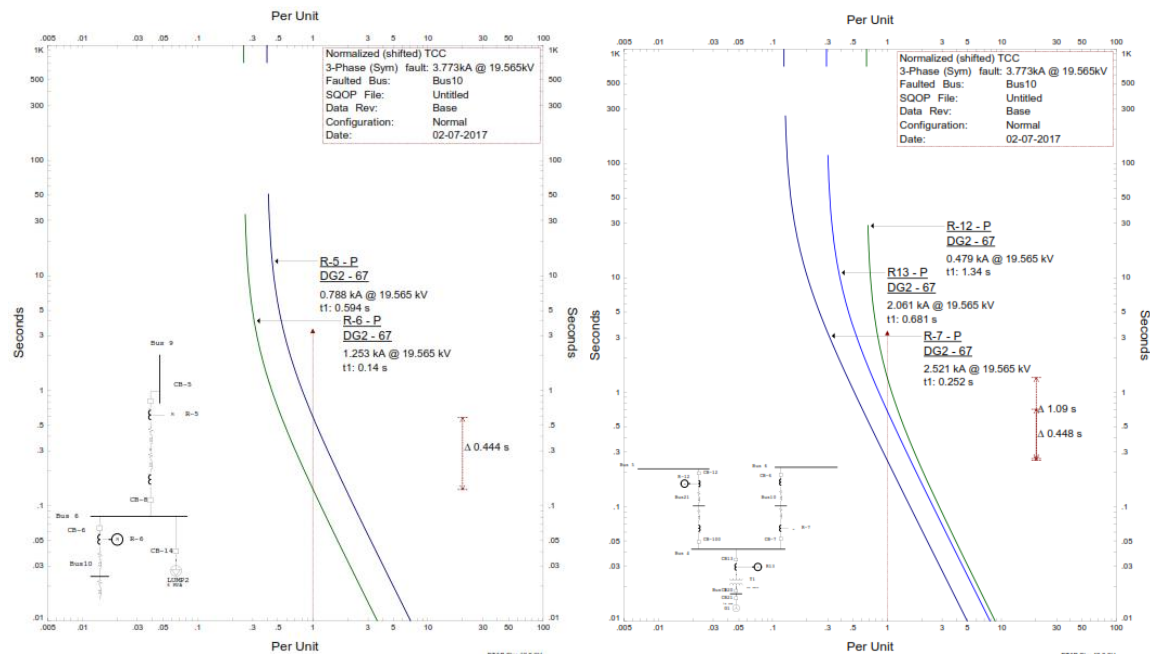
- Kurva Rele 4, 3, 9, 8, dan 15 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 8 dan Bus 9.



- Kurva Rele 5, 4, 15, 8, dan 7 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 6 dan Bus 9.

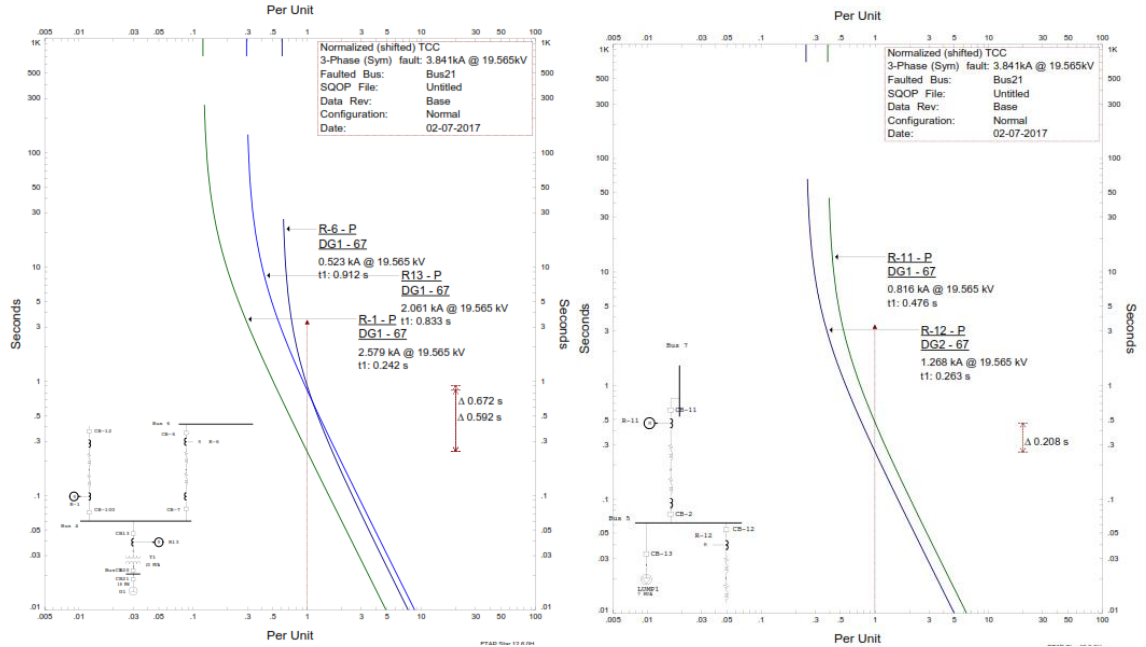


- Kurva Rele 6, 5, 7, 12, dan 13 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 4 dan Bus 6.

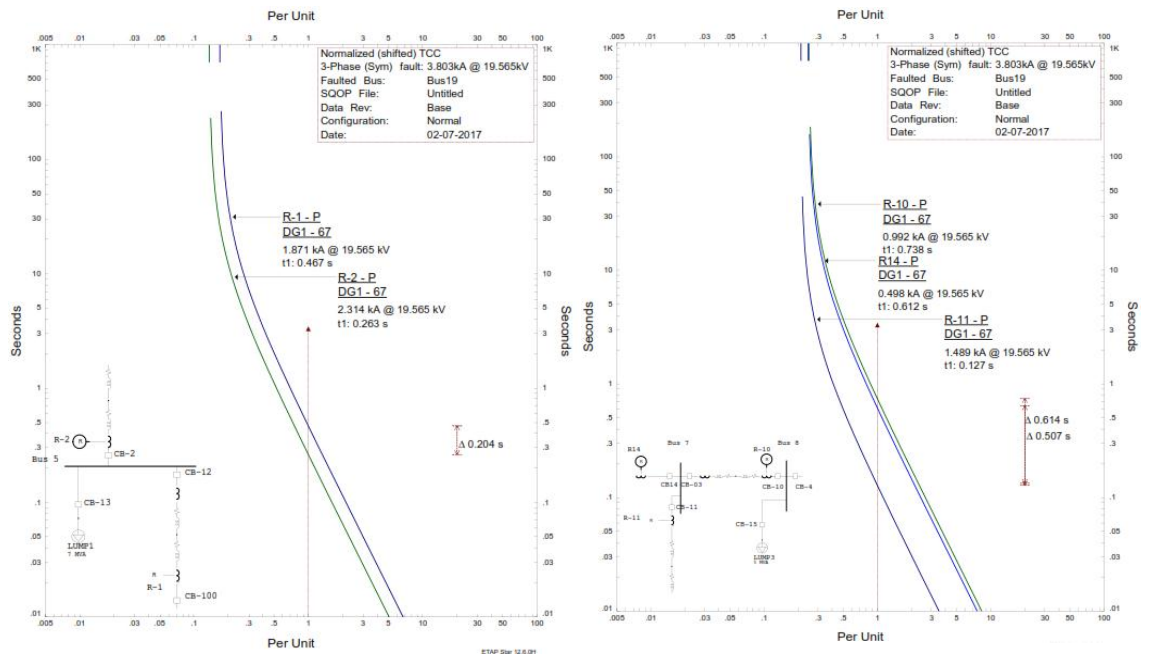


c. Skema 3

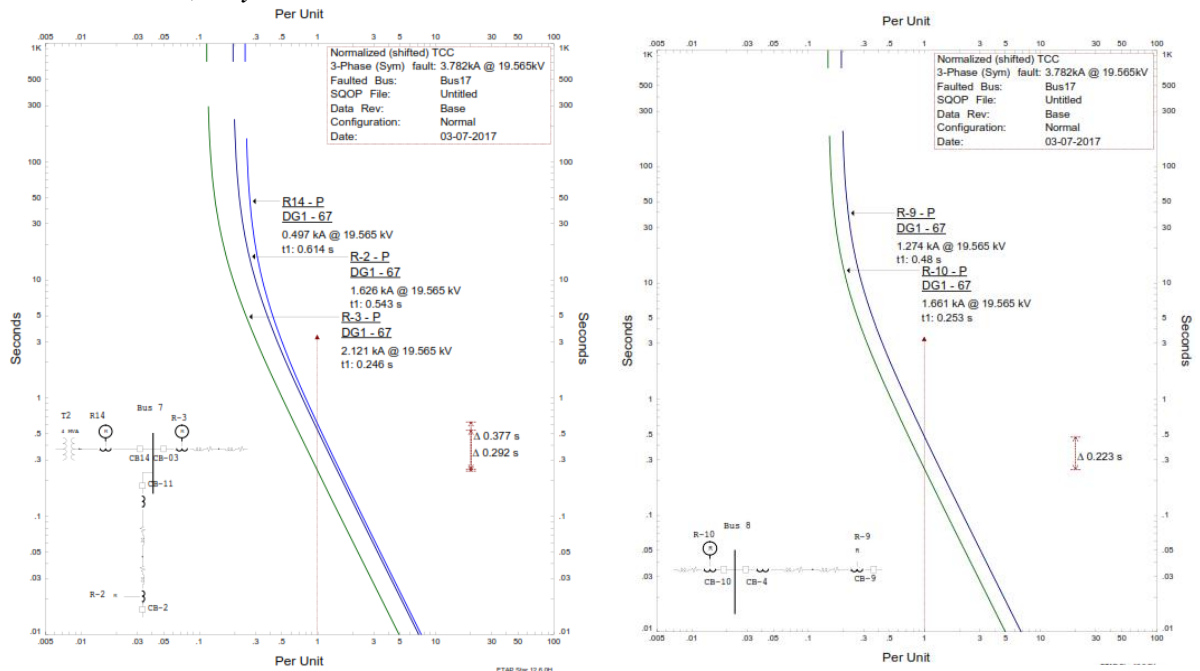
- Kurva Rele 11, 12, 1, 13, dan 6 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 4 dan Bus 5.



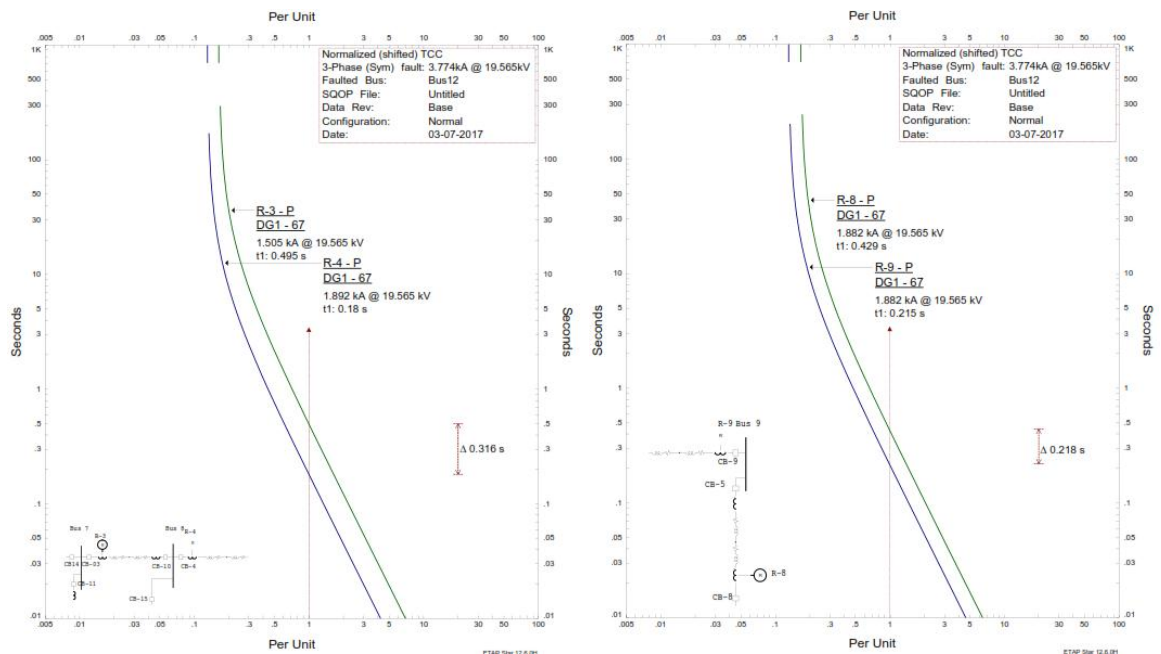
- Kurva Rele 1,2, 11,14, dan 10 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 5 dan Bus 7.



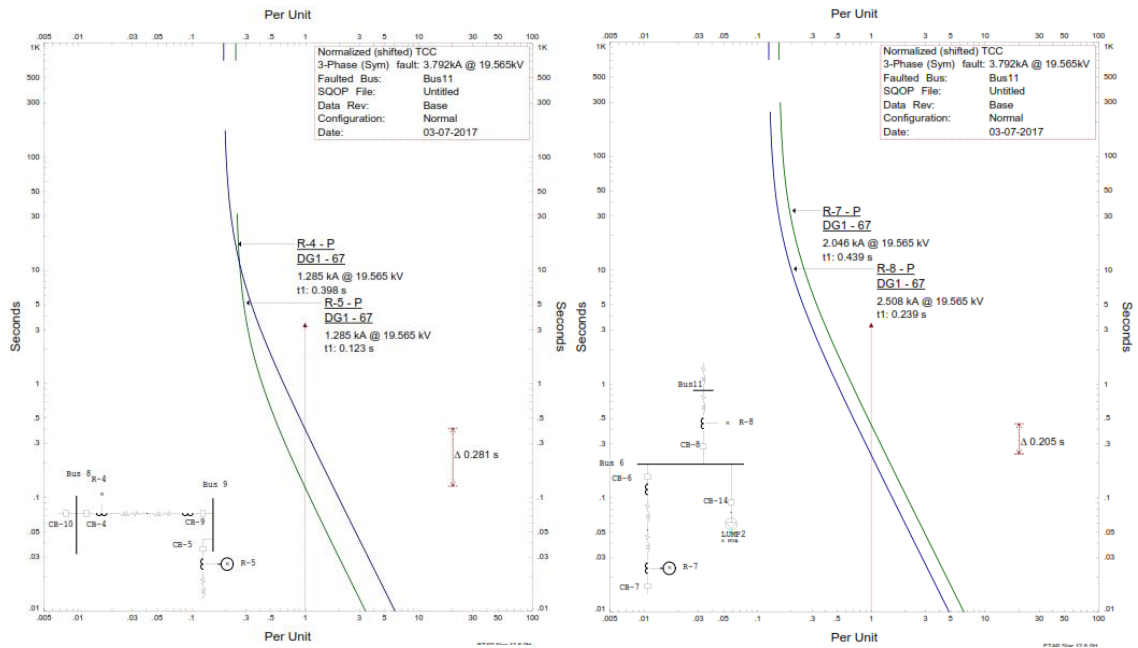
- Kurva Rele 3, 2, 14, 10, dan 9 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 7 dan Bus 8



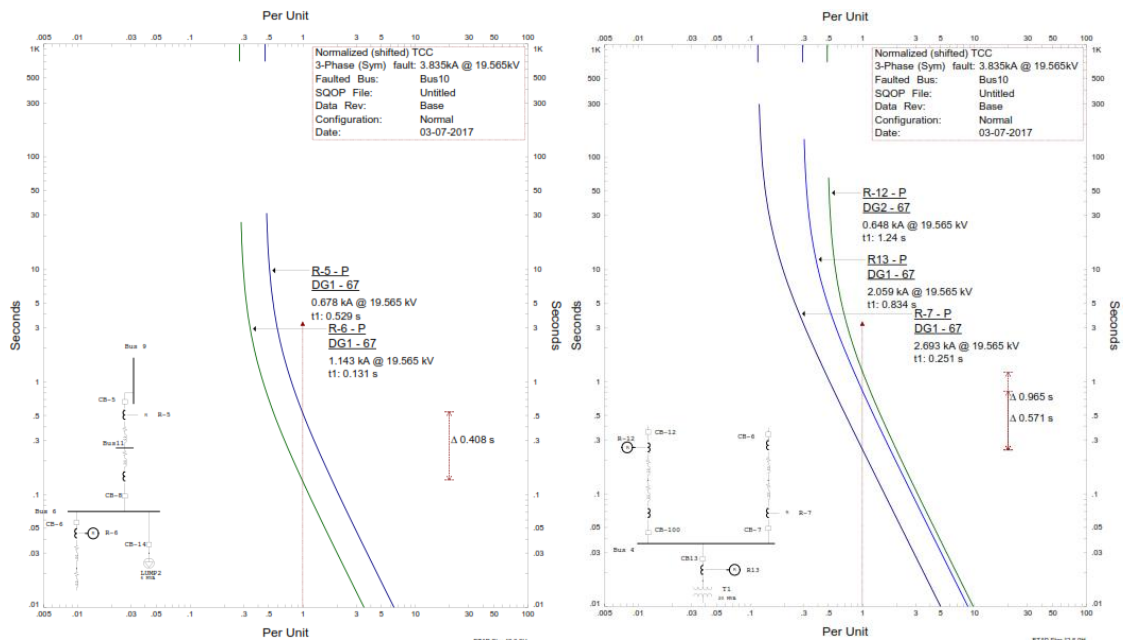
- Kurva Rele 4, 3, 9, dan 8 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 8 dan Bus 9.



- Kurva Rele 5, 4, 8 dan 7 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 6 dan Bus 9.

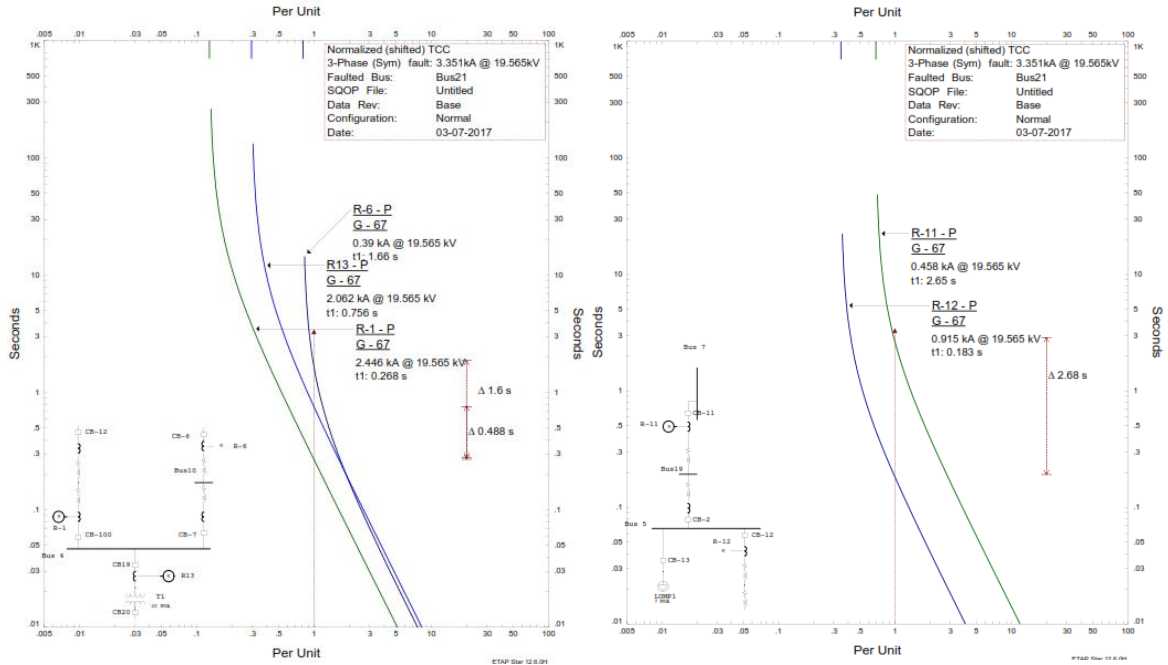


- Kurva Rele 6,5, 7, 12 dan 13 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 4 dan Bus 6.

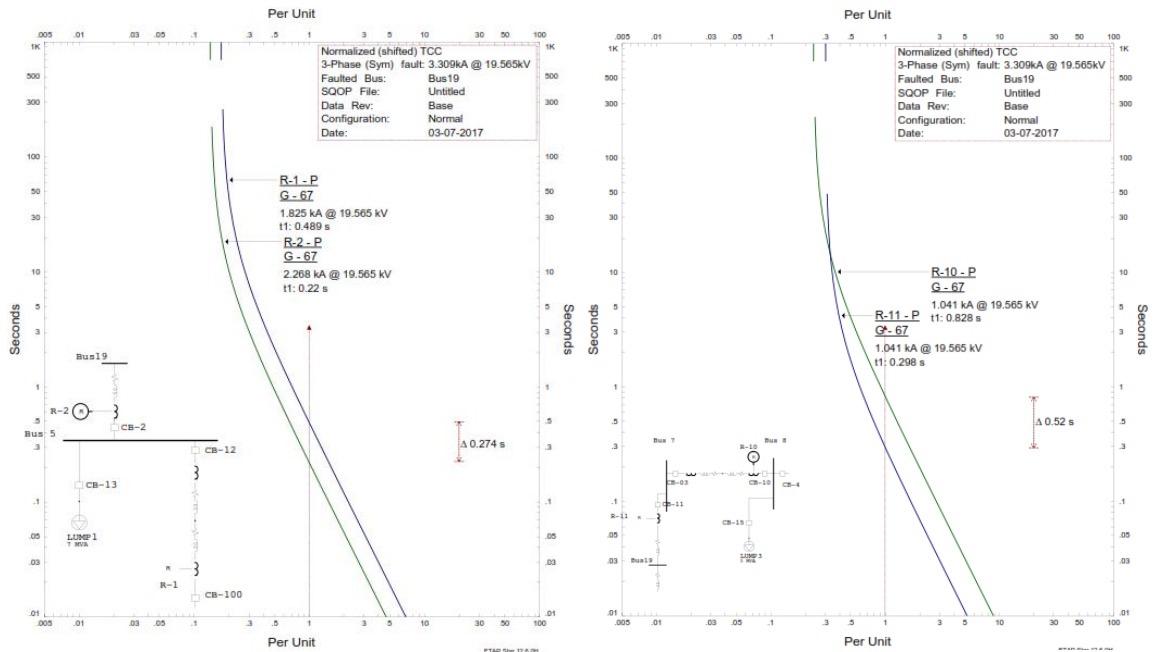


d. Skema 4

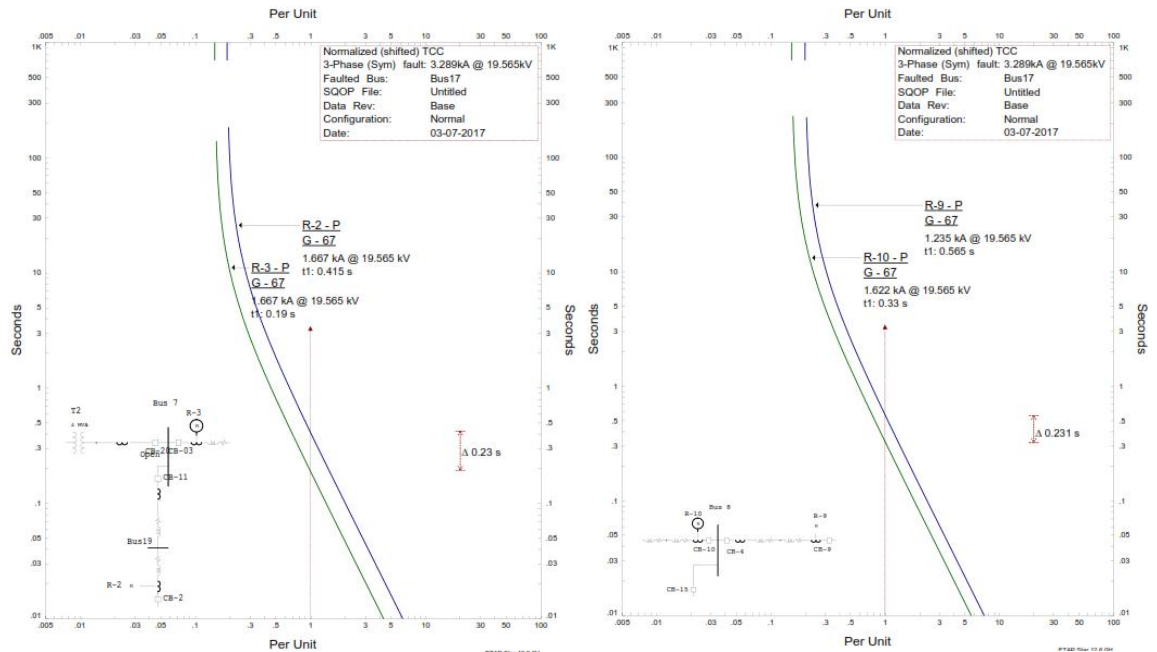
- Kurva Rele 11,12, 1,13 dan 6 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 4 dan Bus 5



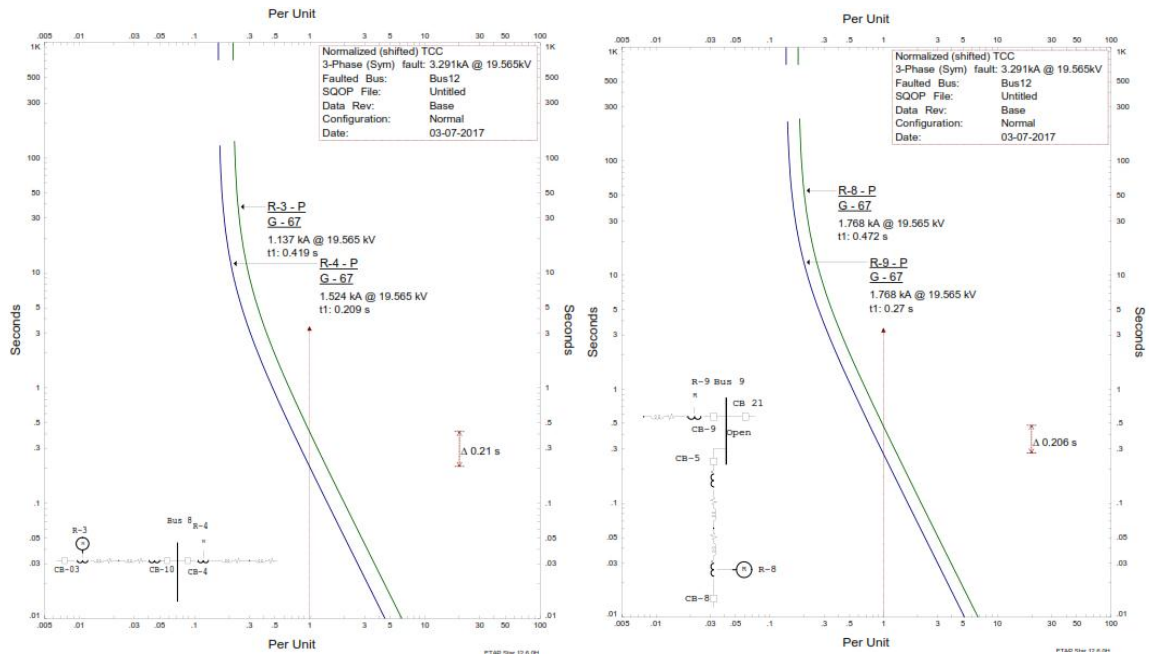
- Kurva Rele 1,2, 11,14 dan 10 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 5 dan Bus 7.



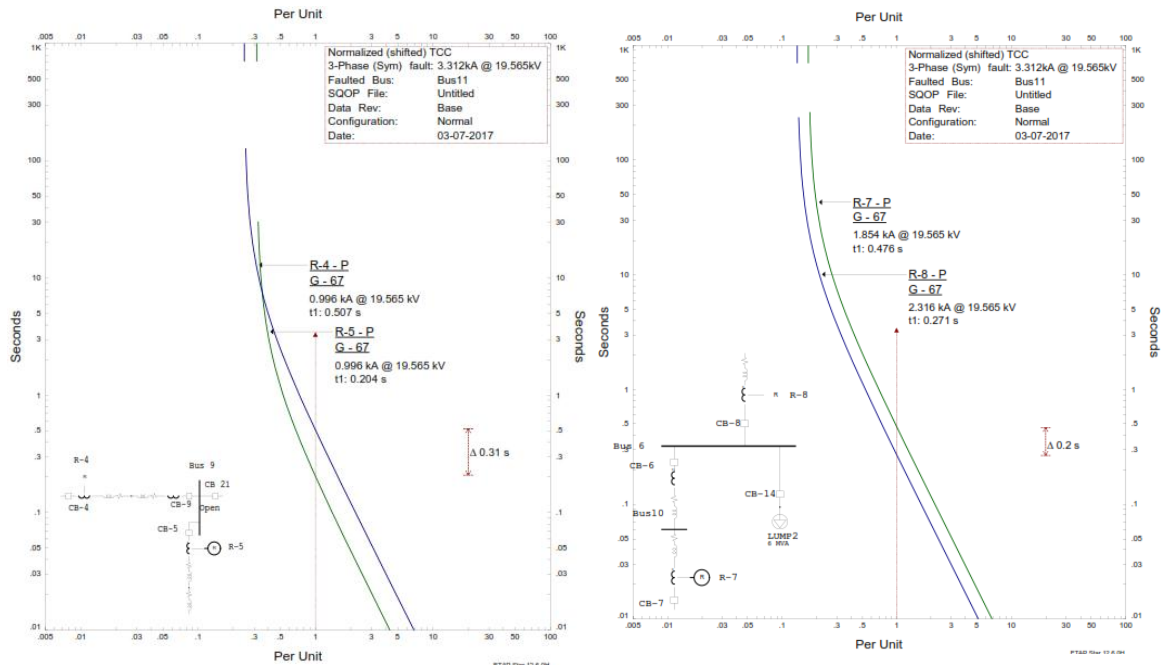
- Kurva Rele 3,2, 14, 10 dan 9 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 7 dan Bus 8.



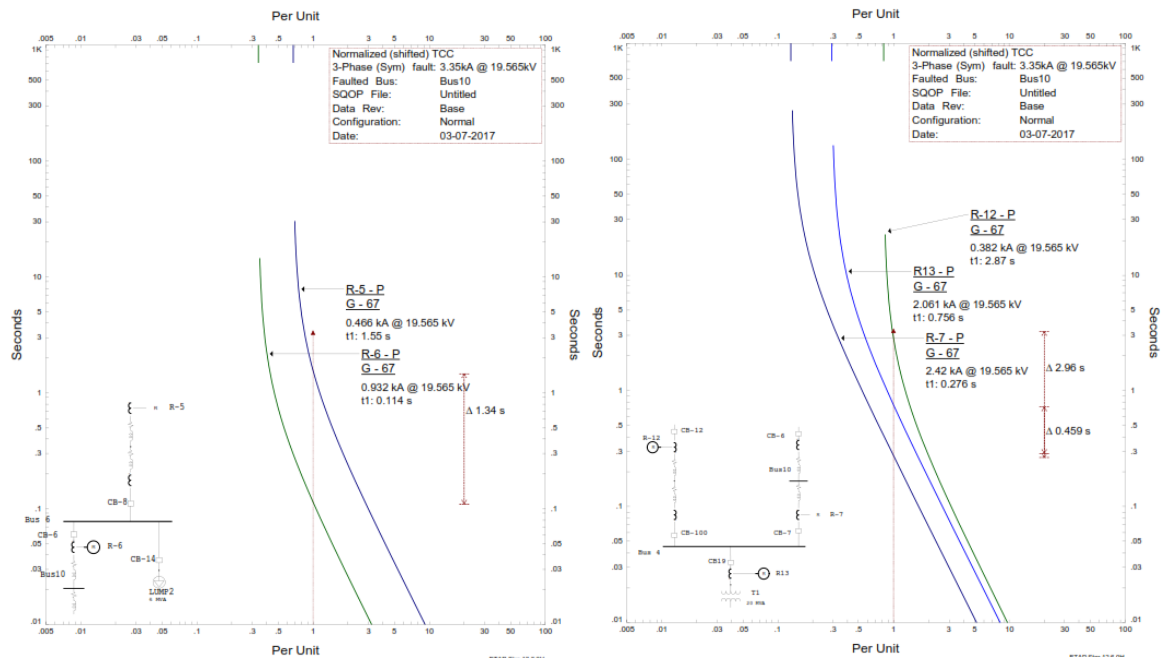
- Kurva Rele 4,3, 9, dan 8 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 8 dan Bus 9.



- Kurva Rele 5,4, 8 dan 7 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 6 dan Bus 9.



- Kurva Rele 6,5, 7, 12 dan 13 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle Antara Bus 4 dan Bus 6.



2. Data pelatihan atau *look up table* :

Terdapat 120 data target yang terdiri dari TDS dan *Ipickup* pada setiap kondisi pembangkitan

Input dan Target

Skema	Input			Target														
	Pembangkit			TDS														
	G	DG1	DG2	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
1	1	1	1	0.199 2	0.145 2	0.206 6	0.152 5	0.081 6	0.027 9	0.211 3	0.169 4	0.184 4	0.126 0	0.044 8	0.046 3	0.082 2	0.143 9	0.110 5
2	1	0	1	0.215 2	0.176 9	0.139 6	0.137 9	0.038 6	0.026 2	0.199 3	0.175 4	0.208 8	0.177 5	0.047 2	0.022 3	0.090 9	0.000 0	0.100 2
3	1	1	0	0.204 9	0.173 6	0.224 0	0.130 3	0.024 2	0.012 7	0.226 3	0.185 7	0.154 2	0.141 3	0.033 5	0.055 3	0.110 6	0.121 2	0.000 0
4	1	0	0	0.198 5	0.140 3	0.106 3	0.097 0	0.023 3	0.010 8	0.203 4	0.180 3	0.169 9	0.174 2	0.037 2	0.017 1	0.099 8	0.000 0	0.000 0

Skema	Target														
	Ipickup														
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
1	3.1500	3.1500	2.4675	2.4675	3.1500	3.1500	3.1500	3.1500	2.4675	2.4675	3.1500	3.1500	5.0488	2.0300	2.0300
2	3.1500	3.1500	2.4675	2.4675	3.1500	3.1500	3.1500	3.1500	2.4675	2.4675	3.1500	3.1500	5.0488	0.0000	2.0300
3	3.1500	3.1500	2.4675	2.4675	3.1500	3.1500	3.1500	3.1500	2.4675	2.4675	3.1500	3.1500	5.0488	2.0300	0.0000
4	3.1500	3.1500	2.4675	2.4675	3.1500	3.1500	3.1500	3.1500	2.4675	2.4675	3.1500	3.1500	5.0488	0.0000	0.0000

3. Bobot dan Bias Hasil Pelatihan ANN

Total bobot dan bias yang harus dimasukan pada *master control* sejumlah 98 data lebih kecil dibandingkan dengan *look up tabel* yang harus memasukkkan sejumlah data target sebanyak 120 data.

Data Bobot:

Bobot Awal			
Neuron	x1	x2	x3
y1	0.52203	0.15690	-1.08398
y2	-1.02195	0.64329	0.07114

Bobot Akhir		
Neuron	y1	y2
z1	-0.59958	-0.52308
z2	0.009397	0.050605
z3	0.06844	1.647601
z4	-1.21758	1.194321
z5	-1.37453	0.996468
z6	-1.72651	0.459112
z7	1.010483	1.310952
z8	1.652012	-0.28156
z9	-1.56846	-0.62759
z10	0.131924	-1.68367
z11	-1.74565	-0.21947
z12	0.314112	1.631646
z13	1.670889	-0.15589
z14	-0.00903	1.710063
z15	-1.75828	0.342693
z16	-1.9E-17	-5.6E-17
z17	2.78E-17	-8.8E-17
z18	8.52E-18	-1.3E-16
z19	3.78E-17	1.17E-16
z20	-1.7E-16	5.46E-17
z21	1.83E-16	-9E-17
z22	-1.9E-18	-5.1E-17
z23	1.44E-16	-1.2E-16
z24	-5.9E-17	1.43E-17
z25	5.02E-17	1.98E-16
z26	1.58E-16	5.74E-17
z27	2.39E-17	-2E-16
z28	4.11E-17	1.07E-16
z29	0.161504	1.698386
z30	-1.75937	0.259063

Data Bias:

Neuron	Bias Awal
y1	-1.4579343
y2	0.95822271

Neuron	Bias Akhir
y1	-0.309464228
y2	0.006858826
y3	0.110533786
y4	-0.521551874
y5	-0.605443757
y6	-0.798023346
y7	0.54188145
y8	0.771058586
y9	-0.774448796
y10	-0.017107332
y11	-0.839249688
y12	0.226426311
y13	0.785973459
y14	0.076708175
y15	-0.818618171
y16	3.15
y17	3.15
y18	2.4675
y19	2.4675
y20	3.15
y21	3.15
y22	3.15
y23	3.15
y24	2.4675
y25	2.4675
y26	3.15
y27	3.15
y28	5.04875
y29	0.157127081
y30	-0.823098322

RIWAYAT HIDUP



Daeng Rahmatullah, S.Pd. MT, dilahirkan di Pamekasan, 07 Maret 1990. Anak pertama dari tiga bersaudara pasangan Bapak Ganibudin dan Ibu Halimatus Sa'diyah. Pendidikan dasar ditempuh di SDN Pademawu Timur 5 lulus tahun 2002. Kemudian melanjutkan ke SMPN 5 Pamekasan lulus tahun 2005. Selanjutnya, di SMAN 2 Pamekasan lulus tahun 2008 dan memperoleh gelar sarjana di Teknik Elektro UNESA, bidang studi Teknik Sistem Tenaga pada tahun 2012. Saat ini sedang menyelesaikan pendidikan pada program magister di Fakultas Teknologi Elektro ITS, Departemen Teknik Elektro, bidang keahlian Teknik Sistem Tenaga. Saat menjadi mahasiswa, aktif sebagai anggota Laboratorium Instrumentasi, Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST) Jurusan Teknik Elektro ITS pada tahun 2015-2017. Sering melakukan penelitian dibidang rele proteksi dan mengikuti *international conference* salah satunya RCEEE tahun 2017 untuk penelitian. Menjadi instruktur pelatihan *Programmable Logic Control* (PLC) di UPT.PPK Jawa timur sejak tahun 2012 sampai dengan sekarang. Sering mengisi seminar Otomasi industri di berbagai SMK se-jawa timur yang dikirim oleh UPT. PPK jawa timur. Penulis juga mendirikan CV. Inotech Mandiri pada tahun 2013 yang bergerak dibidang perakitan sistem otomasi industri.

Email: daengrahmatullah@gmail.com / kasrakas07@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR INDEKS

A

Artifisial Intelegent, 2

B

Backpropagation Conjugate Gradient, 2
Behaviorally Inspired, 19
Brent's Search, 27

C

Charalambou' Search, 27
Circuit Breaker, 6, 7, 11
Conjugate Gradient, Xiv, 26, 27, 39

D

Definite, Xiv, 1, 13, 15
Directional Over Current Relay, Xiv, 1, 17
Distributed Generation, Ix, 17

E

Evolution Based Prosedures, 20
Extreme Invers, 14

F

Feedfoward Network, 24
Flechter-Reeves, 27
Fuzzy, 2, 87

G

Golden Section Search, 27
Gradient Descent, 26

H

Hybrid Biecton-Cubic Search, 27

I

International Energy Agency, 18
Inverse, 1, 3, 16, 33, 85

J

Jaringan Feedforward, 24

L

Levenberg Marquart, 27
Long Time Invers, 14

Look Up Table, 3, 85, 101
Low Set, Vii, Ix, 4

M

Master Control Lebih, 3, 38, 85
Mean Squared Error, 60
Multi Objective, 20
Multiple Sequence Alignment Algorithm, 2

N

Neural Network, 2

P

Particle Swarm Optimization, Xiv, 19, 88
Pickup Setpoint, 12
Polak-Ribiere, 28

Q

Quasi Newton, 27

R

Rating Generator, 4
Recurrent Network Or Feedback Network,
24
Resilent Backpropagation, 26

S

Short Time Invers, 14
Singgle Line Diagram, 4
Steady State, 8
Supervised Learning, Xvii, 25, 26
Swarm Intelligence, 19

T

Time Dial, 14, 16
Time-Current Characteristic, 14
Training Performance, 61
Trasformer, 4

U

Unsupervised Learning, 26

V

Very Invers, 14

Halaman ini sengaja dikosongkan